

Concurso de acceso a plazas de
cuerpos docentes universitarios
Universidad Politécnica de Madrid

Resolución de 30 de diciembre de 2010
(BOE de 18 de enero de 2011)

Plaza número 21
Profesores Titulares de Universidad
ETS Ingenieros de Telecomunicación
Dep. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones

Proyecto Docente

Luis Mendo Tomás

Marzo de 2011

Este Proyecto Docente se presenta como parte de la documentación requerida para el Concurso de Acceso a plazas de cuerpos docentes universitarios convocado por Resolución de 30 de diciembre de 2010, de la Universidad Politécnica de Madrid (BOE de 18 de enero de 2011).

La plaza a la que se concursa es:

- Número de la plaza: 21.
 - Centro: E.T.S.I. de Telecomunicación.
 - Cuerpo: Profesores Titulares de Universidad.
 - Departamento: 0935. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones.
 - Área de conocimiento: 800. Teoría de la señal y Comunicaciones.
 - Perfil docente: Radiocomunicaciones. Comunicaciones Móviles.
 - Perfil investigador: 3325. Tecnología de las Telecomunicaciones.
 - Dedicación: Completa
-

Índice general

| | |
|---|------------|
| Índice general | III |
| Índice de figuras | IX |
| Índice de tablas | XI |
| Presentación del proyecto docente | 1 |
| 1. Contexto del proyecto docente | 3 |
| 1.1. Clasificación del contexto de acción docente | 3 |
| 1.2. Contexto institucional | 4 |
| 1.2.1. El Espacio Europeo de Enseñanza Superior | 4 |
| 1.2.1.1. Desarrollo histórico | 4 |
| 1.2.1.2. Características principales | 6 |
| 1.2.2. La Universidad en España | 7 |
| 1.2.3. La Universidad Politécnica de Madrid | 9 |
| 1.2.4. La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomu- nicación | 13 |
| 1.2.5. El Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunica- ciones | 14 |
| 1.3. Contexto curricular | 15 |
| 1.3.1. Directrices y condiciones aplicables a los títulos de grado en Ingeniería de Telecomunicación | 15 |
| 1.3.2. Plan de Estudios 2010 | 16 |
| 1.3.2.1. Estructura general | 16 |
| 1.3.2.2. Itinerarios y habilitación profesional | 17 |
| 1.3.2.3. Competencias | 18 |
| 1.3.2.4. Metodología utilizada para el proceso de enseñanza- aprendizaje | 18 |
| 1.3.2.5. Organización por módulos, materias y asignaturas | 19 |

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1.3.2.6. | La materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación” | 23 |
| 1.3.2.7. | Las asignaturas <i>Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles</i> | 26 |
| 1.3.3. | Normativa de evaluación en la Universidad Politécnica de Madrid | 27 |
| 1.3.4. | Las guías de aprendizaje en la Universidad Politécnica de Madrid | 28 |
| 1.3.4.1. | Elaboración de la guía | 29 |
| 1.3.4.2. | Estructura de la guía | 31 |
| 1.4. | Contexto profesional | 32 |
| 1.4.1. | La actividad profesional del ingeniero de telecomunicación | 32 |
| 1.4.2. | La actividad profesional del ingeniero técnico de telecomunicación | 34 |
| 1.4.3. | La actividad profesional en relación con las asignaturas <i>Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles</i> | 36 |
| 1.5. | Contexto relacionado con el profesor | 38 |
| 1.5.1. | Situación del profesorado universitario en España | 39 |
| 1.5.2. | El profesorado en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid | 39 |
| 1.6. | Contexto relacionado con los estudiantes | 40 |
| 1.6.1. | Aspectos generales | 40 |
| 1.6.2. | Los estudiantes de <i>Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles</i> | 41 |
| 2. | Conceptos generales sobre objetivos, metodología y evaluación en la enseñanza | 43 |
| 2.1. | Los objetivos educativos | 43 |
| 2.1.1. | Fines y objetivos educativos | 43 |
| 2.1.2. | Clasificación de los objetivos educativos | 44 |
| 2.1.3. | Tipos de objetivos utilizados en la programación de una asignatura | 45 |
| 2.2. | Métodos, técnicas y medios de enseñanza | 46 |
| 2.2.1. | Métodos de enseñanza | 46 |
| 2.2.2. | Técnicas de enseñanza | 49 |
| 2.2.3. | Medios de enseñanza | 56 |
| 2.3. | La evaluación en la enseñanza | 59 |
| 2.3.1. | Componentes de la evaluación | 59 |
| 2.3.2. | Funciones de la evaluación | 60 |
| 2.3.3. | Formas de evaluación | 61 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.3.4. | Medios de evaluación | 62 |
| 2.3.5. | Evaluación de las pruebas de evaluación | 65 |
| 3. | Programación de la asignatura <i>Radiocomunicaciones</i> | 67 |
| 3.1. | Introducción | 67 |
| 3.2. | Información general sobre la asignatura | 69 |
| 3.2.1. | Datos descriptivos (guía de aprendizaje) | 69 |
| 3.2.2. | Profesorado (guía de aprendizaje) | 69 |
| 3.3. | Delimitación de la asignatura respecto a las demás del plan de estudios | 70 |
| 3.3.1. | Tabla de conocimientos previos requeridos (guía de aprendizaje) | 73 |
| 3.4. | Objetivos de la asignatura: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro | 74 |
| 3.4.1. | Competencias del Plan de Estudios a cuya adquisición contribuye la asignatura | 74 |
| 3.4.2. | Tabla de competencias y su nivel de adquisición (guía de aprendizaje) | 75 |
| 3.4.3. | Resultados de aprendizaje | 76 |
| 3.4.4. | Tabla de resultados de aprendizaje (guía de aprendizaje) | 78 |
| 3.4.5. | Indicadores de logro | 79 |
| 3.4.6. | Tabla de indicadores de logro (guía de aprendizaje) | 79 |
| 3.5. | Metodología | 79 |
| 3.5.1. | Métodos | 79 |
| 3.5.2. | Técnicas | 83 |
| 3.5.3. | Medios | 86 |
| 3.5.4. | Tabla de métodos de enseñanza (guía de aprendizaje) | 88 |
| 3.6. | Planificación de los contenidos | 88 |
| 3.6.1. | Contenidos teóricos | 88 |
| 3.6.2. | Prácticas de laboratorio y trabajo final | 90 |
| 3.6.3. | Tabla de contenidos y actividades de aprendizaje (guía de aprendizaje) | 94 |
| 3.7. | Sistema de evaluación | 95 |
| 3.7.1. | Evaluación de los alumnos | 95 |
| 3.7.2. | Evaluación del profesor | 97 |
| 3.7.3. | Tablas de evaluación sumativa y criterios de calificación (guía de aprendizaje) | 97 |
| 3.8. | Cronograma de trabajo de la asignatura | 97 |
| 3.8.1. | Organización de los contenidos teóricos | 99 |
| 3.8.2. | Organización de las prácticas de laboratorio | 99 |
| 3.8.3. | Organización del trabajo final | 100 |

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.8.4. | Correspondencia entre créditos ECTS y horas de trabajo | 100 |
| 3.8.5. | Cronograma de trabajo (guía de aprendizaje) | 100 |
| 3.9. | Recursos didácticos | 102 |
| 3.9.1. | Tabla de recursos didácticos (guía de aprendizaje) | 106 |
| 4. | Programación de la asignatura <i>Comunicaciones Móviles</i> | 107 |
| 4.1. | Introducción | 107 |
| 4.2. | Información general sobre la asignatura | 108 |
| 4.2.1. | Datos descriptivos (guía de aprendizaje) | 108 |
| 4.2.2. | Profesorado (guía de aprendizaje) | 108 |
| 4.3. | Delimitación de la asignatura respecto a las demás del plan de estudios | 109 |
| 4.3.1. | Tabla de conocimientos previos requeridos (guía de aprendizaje) | 112 |
| 4.4. | Objetivos de la asignatura: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro | 112 |
| 4.4.1. | Competencias del Plan de Estudios a cuya adquisición contribuye la asignatura | 113 |
| 4.4.2. | Tabla de competencias y su nivel de adquisición (guía de aprendizaje) | 114 |
| 4.4.3. | Resultados de aprendizaje | 114 |
| 4.4.4. | Tabla de resultados de aprendizaje (guía de aprendizaje) | 117 |
| 4.4.5. | Indicadores de logro | 117 |
| 4.4.6. | Tabla de indicadores de logro (guía de aprendizaje) | 117 |
| 4.5. | Metodología | 117 |
| 4.5.1. | Métodos | 120 |
| 4.5.2. | Técnicas | 121 |
| 4.5.3. | Medios | 125 |
| 4.5.4. | Tabla de métodos de enseñanza (guía de aprendizaje) | 127 |
| 4.6. | Planificación de los contenidos | 128 |
| 4.6.1. | Contenidos teóricos | 128 |
| 4.6.2. | Prácticas de laboratorio | 130 |
| 4.6.3. | Tabla de contenidos y actividades de aprendizaje (guía de aprendizaje) | 134 |
| 4.7. | Sistema de evaluación | 138 |
| 4.7.1. | Evaluación de los alumnos | 138 |
| 4.7.2. | Evaluación del profesor | 139 |
| 4.7.3. | Tablas de evaluación sumativa y criterios de calificación (guía de aprendizaje) | 140 |
| 4.8. | Cronograma de trabajo de la asignatura | 140 |
| 4.8.1. | Organización de los contenidos teóricos | 140 |

| | |
|--|------------|
| 4.8.2. Organización de las prácticas de laboratorio | 142 |
| 4.8.3. Correspondencia entre créditos ECTS y horas de trabajo | 144 |
| 4.8.4. Cronograma de trabajo (guía de aprendizaje) | 144 |
| 4.9. Recursos didácticos | 144 |
| 4.9.1. Tabla de recursos didácticos (guía de aprendizaje) | 152 |
| Anexo A. Adaptación al Plan de Estudios 1994 | 153 |
| A.1. Plan de Estudios 1994 | 153 |
| A.2. Asignatura <i>Radiocomunicaciones</i> | 156 |
| A.3. Asignatura <i>Comunicaciones Móviles</i> | 158 |
| Anexo B. Competencias generales, comunes de telecomunicación y de tecnología específica de Sistemas de Telecomunicación | 161 |
| B.1. Competencias generales | 161 |
| B.2. Competencias específicas comunes a la rama de telecomunicación | 162 |
| B.3. Competencias de tecnología específica de Sistemas de Telecomunicación | 164 |
| Anexo C. Descripción de las asignaturas relacionadas con <i>Radiocomunicaciones</i> y <i>Comunicaciones Móviles</i> | 165 |
| Anexo D. Modelo de encuesta | 169 |
| Referencias | 171 |
| Glosario de siglas | 177 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| D.1. Modelo de encuesta para asignaturas de grado | 170 |
|---|-----|

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| 1.1. Materias del módulo de formación básica (módulo 1) del Plan de Estudios 2010 | 21 |
| 1.2. Materias del módulo de formación común a la rama de telecomunicación (módulo 2) del Plan de Estudios 2010 | 21 |
| 1.3. Materias del módulo de tecnología específica (módulo 3) del Plan de Estudios 2010 | 21 |
| 1.4. Materias del módulo de formación transversal y complementaria (módulo 5) del Plan de Estudios 2010 | 21 |
| 1.5. Materias del módulo de formación específica horizontal (módulo 6) del Plan de Estudios 2010 | 22 |
| 1.6. Asignaturas de los cursos primero a tercero del Plan de Estudios 2010 | 24 |
| 1.7. Asignaturas de cuarto curso del Plan de Estudios 2010 | 25 |
| 3.1. Datos descriptivos de <i>Radiocomunicaciones</i> | 70 |
| 3.2. Profesorado de <i>Radiocomunicaciones</i> | 70 |
| 3.3. Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad <i>Radiocomunicaciones</i> | 74 |
| 3.4. Competencias asignadas a <i>Radiocomunicaciones</i> y nivel de adquisición | 77 |
| 3.5. Resultados de aprendizaje en <i>Radiocomunicaciones</i> | 80 |
| 3.6. Indicadores de logro en <i>Radiocomunicaciones</i> | 81 |
| 3.7. Métodos de enseñanza empleados en <i>Radiocomunicaciones</i> | 89 |
| 3.8. Contenidos y actividades de aprendizaje en <i>Radiocomunicaciones</i> : parte de teoría | 94 |
| 3.9. Contenidos y actividades de aprendizaje en <i>Radiocomunicaciones</i> : prácticas de laboratorio y trabajo final | 96 |
| 3.10. Evaluación sumativa en <i>Radiocomunicaciones</i> | 98 |
| 3.11. Criterios de calificación en <i>Radiocomunicaciones</i> | 98 |
| 3.12. Cronograma de la asignatura <i>Radiocomunicaciones</i> | 101 |
| 3.13. Recursos bibliográficos en <i>Radiocomunicaciones</i> | 106 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| 4.1. Datos descriptivos de <i>Comunicaciones Móviles</i> | 109 |
| 4.2. Profesorado de <i>Comunicaciones Móviles</i> | 109 |
| 4.3. Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad <i>Comunicaciones Móviles</i> | 112 |
| 4.4. Competencias asignadas a <i>Comunicaciones Móviles</i> y nivel de adquisición | 115 |
| 4.5. Resultados de aprendizaje en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 118 |
| 4.6. Indicadores de logro en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 119 |
| 4.7. Métodos de enseñanza empleados en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 128 |
| 4.8. Contenidos y actividades de aprendizaje en <i>Comunicaciones Móviles</i> : parte de teoría | 135 |
| 4.9. Contenidos y actividades de aprendizaje en <i>Comunicaciones Móviles</i> : prácticas de laboratorio | 138 |
| 4.10. Evaluación sumativa en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 140 |
| 4.11. Criterios de calificación en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 141 |
| 4.12. Cronograma de la asignatura <i>Comunicaciones Móviles</i> | 145 |
| 4.13. Recursos bibliográficos en <i>Comunicaciones Móviles</i> | 152 |

Presentación del proyecto docente

Antecedentes

La Resolución de 30 de diciembre de 2010, de la Universidad Politécnica de Madrid (Boletín Oficial del Estado de 18 de enero de 2011), por la que se convoca concurso de acceso a plazas de cuerpos docentes universitarios [1], establece en su base 6.1 la necesidad de presentar, entre otros documentos:

Proyecto docente e investigador, para el desempeño de la plaza, que incluirá el programa docente, para la plaza del cuerpo docente convocada a concurso de acceso.

El Anexo I de la citada Resolución establece para la plaza número 21 el siguiente perfil docente:

Radiocomunicaciones. Comunicaciones Móviles.

En la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid se imparten actualmente las dos titulaciones siguientes:

- Ingeniero de Telecomunicación, según el Plan de Estudios de 1994;
- Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación, según el Plan de Estudios de 2010.

En ambos planes de estudios existen dos asignaturas con las denominaciones que aparecen en el perfil docente de la plaza. Dado que en la convocatoria no se especifica a cuál de los dos planes debe corresponder el programa docente, y teniendo en cuenta que en el año académico 2010-11 ya ha entrado en vigor el Plan 2010 (asignaturas de primer curso), la planificación se va a realizar para las asignaturas correspondientes el Plan 2010. En un anexo se incluyen algunos comentarios relativos a los aspectos que sería necesario tener en cuenta para adaptar la planificación al Plan 1994.

Contenido del Proyecto Docente

Este Proyecto Docente contiene la planificación de dos asignaturas:

1. *Radiocomunicaciones*, asignatura de 6 créditos ECTS perteneciente al Plan de Estudios de 2010, itinerario de Sistemas de Telecomunicación, de la titulación de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación de la Universidad de Politécnica de Madrid.
2. *Comunicaciones Móviles*, asignatura de 6 créditos ECTS perteneciente al Plan de Estudios de 2010, itinerario de Sistemas de Telecomunicación, de la titulación de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación de la Universidad de Politécnica de Madrid.

El Proyecto Docente se estructura en cuatro capítulos. En el capítulo §1 se analiza el contexto en el cual deben planificarse las asignaturas. El §2 presenta algunos conceptos generales que resultan útiles para llevar a cabo la planificación. Los capítulos §3 y §4 contienen la programación de *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, respectivamente. En los anexos §A–§D se presenta información adicional relacionada con la planificación. Se incluye también un glosario (pág. 177) que recoge todas las siglas utilizadas.

Capítulo 1

Contexto del proyecto docente

El diseño de la acción docente está condicionado por un conjunto de factores, los cuales deben analizarse antes de realizar la planificación. De ello se ocupa el presente capítulo. El contexto de la actividad docente se divide para su análisis en cinco categorías (§1.1), cada una de las cuales se estudia por separado: contexto institucional (§1.2), curricular (§1.3), profesional (§1.4), relacionado con el profesor (§1.5) y con los estudiantes (§1.6).

1.1. Clasificación del contexto de acción docente

El contexto de la acción docente en la Universidad puede clasificarse en cinco grupos o categorías de elementos [2]:

- Institucional: factores impuestos por el entorno legal; características propias de la Universidad, Escuela (o Facultad) y Departamento en que se imparte la docencia.
- Curricular: condiciones impuestas por el Plan de Estudios en que se enmarca la asignatura.
- Profesional: perfil que deben tener los futuros ingenieros, en función de las necesidades de la sociedad y en particular del mercado laboral.
- Relacionado con el profesor: condiciones derivadas de las características de la figura de profesor.
- Relacionado con los estudiantes: características de los alumnos a los que va destinada la asignatura.

En el resto del capítulo se analiza cada uno de estos grupos.

1.2. Contexto institucional

El contexto institucional viene definido por varios niveles:

1. Entorno europeo (Espacio Europeo de Enseñanza Superior);
2. Entorno nacional (Ley Orgánica de Universidades, con sus modificaciones y los reglamentos que la desarrollan);
3. Universidad Politécnica de Madrid;
4. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación;
5. Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones.

A continuación se considera cada uno de estos niveles.

1.2.1. El Espacio Europeo de Enseñanza Superior

1.2.1.1. Desarrollo histórico

En 1998, los Ministros de Educación de Francia, Alemania, Italia y Reino Unido firman en La Sorbona, París (Francia) una Declaración instando al desarrollo de un “Espacio Europeo de Enseñanza Superior” (*European Higher Education Space*). La Declaración de La Sorbona es el primer paso de un proceso político de cambio a largo plazo de la enseñanza superior en Europa. Su objetivo es la armonización de todo el sistema europeo de educación superior, para permitir la convalidación de los conocimientos adquiridos y un mejor reconocimiento de las titulaciones. También se habla de facilitar la movilidad de los estudiantes y del reconocimiento internacional del título.

En 1999 se celebra una Conferencia Ministerial en Bolonia (Italia), que da lugar a la Declaración de Bolonia. Esta declaración, suscrita por 30 estados europeos (no sólo de la Unión Europea), sienta las bases para la construcción del citado Espacio Europeo de Enseñanza Superior. Recoge seis objetivos:

- Sistema de titulaciones fácilmente comparables, materializado en el “Suplemento Europeo” al título.
- Dos ciclos de enseñanza superior: ciclo de grado y ciclo de máster y doctorado.
- Establecimiento de un sistema de créditos como el “*European Credit Transfer System*” (ECTS).
- Promoción de la movilidad de estudiantes y profesores.

- Cooperación europea para una garantía de calidad.
- Promoción de la dimensión europea de la educación superior.

La Declaración de Bolonia establece un plazo hasta 2010 para la realización del Espacio Europeo de Enseñanza Superior, por medio de varias fases. Cada fase finaliza mediante una Conferencia Ministerial que revisa lo conseguido y establece las directrices para el futuro.

La siguiente Conferencia Ministerial se reúne en Praga (Chequia) en 2001. En la Declaración de Praga se introducen elementos nuevos: educación y formación a lo largo de la vida; participación activa de los estudiantes; calidad de la enseñanza y de la investigación, variedad de instituciones y programas y cooperación en educación transnacional.

La tercera Conferencia que se realiza dentro de este marco es la de Berlín (Alemania), en 2003. Por su parte, la Unión Europea, en su Comunicación de 2003 sobre “El papel de las Universidades en la Europa del conocimiento”, analiza las condiciones necesarias para que las Universidades asuman su función en el proceso, lo cual conduce al establecimiento de tres objetivos:

- Garantizar que las Universidades e instituciones de educación superior dispongan de recursos suficientes y duraderos.
- Reforzar su excelencia académica, mediante la creación de redes docentes y científicas.
- Lograr una mayor apertura de las Universidades hacia el exterior e incrementar su atractivo a escala internacional.

La cuarta Conferencia Ministerial tiene lugar en 2005 en Bergen (Noruega), y reúne a los responsables de 45 países europeos. Los Ministros insisten en la necesidad de la plena integración del doctorado en el Proceso de Bolonia y de un mayor vínculo entre la Universidad, la investigación y la innovación. Para conseguir estos fines son necesarias medidas de apoyo financiero a los estudiantes. La movilidad sigue siendo uno de los objetivos fundamentales. Otro punto aprobado en el Comunicado de Bergen es el fomento de la cooperación del Espacio Europeo de Enseñanza Superior con otras áreas geográficas.

La quinta Conferencia Ministerial tiene lugar en 2007 en Londres (Reino Unido). Los ministros revisan los avances hechos desde 2005, y reafirman su compromiso de mejorar la compatibilidad de los sistemas de educación superior, respetando al mismo tiempo su diversidad.

La sexta Conferencia Ministerial tiene lugar en 2009 en Lovaina (Bélgica). De acuerdo con el comunicado elaborado por los ministros participantes, aunque se ha avanzado en la implantación de las líneas de acción anteriormente identificadas,

quede mucho trabajo por hacer, especialmente en cuanto a formación continua y movilidad de estudiantes. En esta conferencia no se introducen nuevas líneas de actuación.

1.2.1.2. Características principales

Los aspectos más relevantes del Espacio Europeo de Enseñanza Superior pueden resumirse como sigue.

Sistema de créditos ECTS Se establece el sistema de créditos ECTS, en el cual el trabajo del alumno se mide incluyendo no sólo las horas de clase sino también las horas de estudio y tutorías. En el sistema ECTS un crédito equivale a 25–30 horas de trabajo del alumno.

Ciclo de grado El ciclo de grado es el primer nivel de los estudios universitarios. Comprende enseñanzas básicas y de formación general, junto a otras orientadas a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional. Su objetivo es conseguir la capacitación de los estudiantes para integrarse en el ámbito laboral europeo con una cualificación adecuada.

La duración está comprendida entre 180 y 240 créditos ECTS. La superación de este ciclo da lugar a la obtención del correspondiente título, que sustituye a los actuales títulos de primer y segundo ciclo.

Ciclo de postgrado Los estudios oficiales de postgrado tienen como finalidad la especialización del estudiante en su formación académica, profesional o investigadora, y se articulan en programas integrados por las enseñanzas conducentes a la obtención de los títulos de máster o doctor. Para acceder a los estudios de postgrado es necesario estar en posesión del título de grado u otro declarado equivalente.

Los estudios universitarios de segundo ciclo conducentes a la obtención del título oficial de máster deben tener una extensión mínima de 60 créditos ECTS y máxima de 120. Están dedicados a la formación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, dirigida a una especialización académica o profesional, o bien a promover la iniciación en tareas investigadoras. Incluyen un trabajo final del máster defendido ante un tribunal.

Los estudios de doctorado tienen como finalidad la formación avanzada del doctorando en las técnicas de investigación. Tal formación puede articularse mediante la organización de cursos, seminarios u otras actividades, e incluye la elaboración y presentación de la correspondiente tesis doctoral, consistente en un

trabajo original de investigación. La superación del ciclo da derecho a la obtención del título de doctor. El estudiante, una vez obtenido un mínimo de 60 créditos ECTS en programas oficiales de postgrado o cuando se halle en posesión del título oficial de máster, podrá solicitar su admisión en el doctorado, siempre que haya completado un mínimo de 300 créditos en el conjunto de sus estudios universitarios de grado y postgrado.

Suplemento Europeo Se incorpora el Suplemento Europeo al título. En él se reflejan los resultados del aprendizaje y los conocimientos acreditados a una persona por instituciones europeas de enseñanza superior, con un formato normalizado. De esta forma pueden compararse los títulos de distintos países europeos.

1.2.2. La Universidad en España

Ley Orgánica de Universidades La Ley Orgánica de Universidades (6/2001, modificada por la Ley Orgánica 4/2007) [3] [4], junto con sus reglamentos de desarrollo, regula el funcionamiento de la Universidad en España. La función docente de la Universidad se recoge principalmente en los títulos VI: “De las enseñanzas y títulos” y XIII: “Espacio europeo de enseñanza superior”.

El título VI establece, en relación con la docencia, los siguientes puntos:

- La docencia es una de las funciones propias de la Universidad.
- El Gobierno establece los títulos universitarios oficiales con validez en todo el territorio nacional, así como las directrices generales de los planes de estudios.
- Las Universidades elaboran los planes de estudios, con sujeción a las directrices generales referidas anteriormente. El ajuste a dichas directrices será verificado por el Consejo de Coordinación Universitaria.
- Los estudios universitarios se estructuran en tres ciclos: grado, máster y doctorado (de acuerdo con el Real Decreto 1393/2007 [5]). La superación de los estudios da derecho a la obtención del correspondiente título.

El título XIII legisla lo siguiente:

- Se adoptarán las medidas necesarias para la plena integración de España en el Espacio Europeo de Enseñanza Superior.
- Se adoptarán las medidas para que los títulos oficiales vayan acompañados del Suplemento Europeo al Título.

CAPÍTULO 1. CONTEXTO DEL PROYECTO DOCENTE

- Se establecerán, reformarán o adaptarán las modalidades cíclicas de cada enseñanza y los títulos de carácter oficial.
- Se establecerán las medidas necesarias para adoptar el sistema de créditos del Espacio Europeo de Enseñanza Superior.
- Se fomentará la movilidad de los estudiantes mediante programas de becas, ayudas y créditos al estudio.

Otros aspectos de la citada Ley que afectan directamente a la docencia son:

- El procedimiento de admisión a los estudios universitarios de carácter oficial debe responder a criterios acordes con el Espacio Europeo de Enseñanza Superior.
- Se crea la Conferencia General de Política Universitaria, encargada, entre otras funciones, de la programación general y plurianual de la enseñanza universitaria.
- Se crea un Consejo del estudiante universitario, como órgano colegiado de representación de los estudiantes.
- Se modifican las condiciones de contratación de algunas figuras de profesorado.
- Se modifica el sistema de acceso a los cuerpos de funcionarios docentes universitarios. Dicho acceso exige, con la entrada en vigor de la ley, la obtención previa de una acreditación nacional.
- La práctica deportiva en el ámbito universitario se trata como una parte de la formación de los estudiantes.

Reglamentos de desarrollo Se han promulgado varios Reales Decretos y Órdenes Ministeriales, que regulan, entre otros aspectos:

- Estructura de las enseñanzas universitarias, estudios universitarios oficiales de grado y de postgrado: Real Decreto 1393/2007 [5].
- Sistema europeo de créditos y sistema de calificaciones en las titulaciones oficiales: Real Decreto 1125/2003 [6].
- Procedimiento para la expedición por las Universidades del Suplemento Europeo al Título: Real Decreto 1044/2003 [7].

- Homologación de planes de estudios y títulos de carácter oficial: Real Decreto 49/2004 [8].
- Enseñanzas oficiales de doctorado: Real Decreto 99/2011 [9].
- Requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación: Orden Ministerial CIN/352/2009 [10]; y para el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación: Orden Ministerial CIN/355/2009 [11].

1.2.3. La Universidad Politécnica de Madrid

Datos generales La Universidad Politécnica de Madrid se fundó en 1971, si bien la mayoría de sus centros existían de forma independiente desde los siglos XVIII y XIX, hasta que se agruparon en la citada Universidad. Actualmente la Universidad está formada por 10 Escuelas Técnicas Superiores, 2 Facultades, 8 Escuelas Universitarias, 16 Centros e Institutos Investigación y 1 Centro adscrito.

Se indican a continuación algunos datos sobre las actividades de docencia e investigación relativos al curso 2009–10 [12] [13]:

- Número de alumnos matriculados en centros propios: 37404.
- Número de profesores: 3432, de los cuales el 71,6 % son funcionarios, el 19 % contratados laborales de acuerdo con la Ley Orgánica de Universidades y el 9,4 % contratados administrativos de acuerdo con la Ley de Reforma Universitaria.
- Número de titulaciones de grado (curso 2010-11, ya adaptadas al Real Decreto 1393/2007): 37.
- Número de programas de doctorado: 125 programas de doctorado regulados por el Real Decreto 778/1998 (en proceso de extinción); 7 Programas de doctorado con 60 ECTS de formación no incluidos en programas de máster universitarios; 38 doctorados prorrogados regulados por el Real Decreto 56/2005 o regulados por el Real Decreto 1393/2007.
- Número de tesis doctorales presentadas (curso 2008–09): 176.
- Número de patentes solicitadas (año 2009): 72.
- Número de artículos publicados en revistas: 1999, de los cuales 1348 son en revistas indexadas en ISI Web of Knowledge.

- Número de ponencias presentadas en congresos: 1925.
- Número de contratos suscritos por la Universidad Politécnica de Madrid (septiembre 2009 a junio 2010): 375.

Estatutos Los actuales Estatutos de la Universidad Politécnica de Madrid [14] se aprobaron en 2010, al amparo de la Ley Orgánica de Universidades (6/2001, modificada por la Ley Orgánica 4/2007) y en el marco del Espacio Europeo de Enseñanza Superior. En ellos se recoge el principio de autonomía universitaria, y se señalan como objetivos, entre otros, la excelencia y la capacitación para el ejercicio profesional de sus estudiantes.

A continuación se resume el contenido de los citados Estatutos en relación con la docencia. La enseñanza en la Universidad Politécnica de Madrid está regida por los siguientes principios:

- La enseñanza en la Universidad Politécnica de Madrid tiene como finalidad la preparación para el ejercicio de actividades profesionales y la educación para el desarrollo de las capacidades intelectuales, morales y culturales de los estudiantes a través de la creación, transmisión y crítica de la ciencia, la tecnología, las artes y la cultura.
- Con el fin de promover la movilidad de sus estudiantes en el Espacio Europeo de Educación Superior, la Universidad Politécnica de Madrid dictará reglamentariamente las medidas que aseguren que los títulos oficiales expedidos por ella se acompañen del correspondiente Suplemento Europeo al título.
- El haber académico en los planes de estudio de las enseñanzas oficiales y propias de la Universidad Politécnica de Madrid se medirá en créditos europeos (ECTS), conforme a cómo son descritos y regulados en la legislación vigente.
- Las actividades docentes de la Universidad Politécnica de Madrid fomentarán la adquisición de aptitudes y capacidades científicas, técnicas o artísticas, así como la actualización de conocimientos.
- La calidad de la enseñanza impartida será una prioridad de la Universidad Politécnica de Madrid, para lo cual el Consejo de Gobierno aprobará un sistema de evaluación y control de la docencia dentro del programa institucional de calidad.
- La Universidad Politécnica de Madrid adopta como principio de su organización docente la flexibilidad de los currículos académicos, con el objetivo

central de responder a los intereses formativos de sus estudiantes y a las demandas de la sociedad.

En los Estatutos se contemplan los siguientes tipos de enseñanza:

- Las enseñanzas de la Universidad Politécnica de Madrid pueden ser oficiales y propias. Las primeras estarán orientadas a la obtención de títulos de carácter oficial y con validez en todo el territorio nacional, y se clasifican en enseñanzas de Grado, de Máster Universitario y de Doctorado.
- Las enseñanzas de grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general, en una o varias disciplinas, orientada a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional.
- Las enseñanzas de máster tienen como finalidad la adquisición por el estudiante de una educación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, orientadas a la formación académica o profesional, o bien a promover la iniciación en tareas investigadoras.
- Las enseñanzas de doctorado tienen como finalidad la formación avanzada del estudiante en las técnicas de investigación.
- La Universidad Politécnica de Madrid, dentro de la normativa vigente, podrá impartir enseñanzas de grado y postgrado propias por sí misma o en colaboración con otras entidades de carácter público o privado para una formación específica a los titulados universitarios. Estas enseñanzas conducirán, entre otros, a la obtención de títulos de grado o máster propios de la Universidad Politécnica de Madrid.

Las funciones relativas a la organización de la docencia se reparten de la siguiente forma. Corresponde a las Escuelas y Facultades:

- La elaboración de propuestas de creación de nuevas titulaciones y de supresión de enseñanzas oficiales o propias.
- La elaboración y revisión de los planes de estudio oficiales y la organización de las enseñanzas para la obtención de sus titulaciones oficiales y propias.
- La organización de las enseñanzas conducentes a la obtención de otros títulos que la Universidad Politécnica de Madrid pueda crear.
- En cada Escuela o Facultad se podrá crear una Comisión de Ordenación Académica, por cada una de sus enseñanzas oficiales y propias conducentes a la obtención de un título. Entre otras tareas, se encargará de informar

CAPÍTULO 1. CONTEXTO DEL PROYECTO DOCENTE

la programación docente propuesta por los Departamentos para las correspondientes enseñanzas, y de proponer a la Junta de Escuela o Facultad su organización y la distribución de las evaluaciones y exámenes. Deberá también valorar los posibles casos de solape de contenidos de disciplinas, o de lagunas en los requisitos de asignaturas posteriores.

Los Departamentos tienen las siguientes funciones en relación con la docencia:

- Coordinar y desarrollar las enseñanzas que les hayan sido asignadas dentro de cada titulación, de acuerdo con los planes y programas de estudio y los requisitos de las Escuelas y Facultades en las que aquéllas se impartan.
- Evaluar las competencias académicas de los alumnos.
- Desarrollar programas de enseñanza e investigación interdisciplinares e interdepartamentales.
- Garantizar la calidad de las enseñanzas mediante la asignación y el control del cumplimiento de las obligaciones docentes de su profesorado.
- Desarrollar las enseñanzas propias con orientación al ejercicio profesional, asegurando que no vayan en detrimento de la calidad de las enseñanzas oficiales; éstas tendrán, en todo caso, prioridad sobre aquéllas, en medios materiales y humanos.
- Decidir el profesorado que ha de impartir la docencia en las materias asignadas al Departamento.

Las competencias del Consejo de Gobierno en lo que se refiere a docencia son:

- Aprobar los planes de estudio, a propuesta de las respectivas Juntas de Escuela o Facultad, así como establecer, modificar o suprimir las titulaciones académicas que correspondan a la Universidad Politécnica de Madrid y elevarlos al Claustro Universitario para su conocimiento.
- Reglamentar y aprobar el establecimiento de títulos propios.

Los Estatutos reconocen a los estudiantes los siguientes derechos:

- Recibir una enseñanza de calidad mediante la utilización racional de los recursos humanos y materiales de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Participar en la evaluación de la calidad de la enseñanza.
- Participar en la elaboración de programas y de planes de estudio a través de los órganos colegiados correspondientes.

Asimismo, recogen como deberes de los estudiantes:

- Seguir con responsabilidad y aprovechamiento el proceso de formación, adquisición de conocimientos y aprendizaje correspondiente a su condición de universitario.
- Realizar las actividades de estudio e investigación que se deriven de la programación de las enseñanzas y de los planes de estudios seguidos.
- Contribuir responsablemente a la evaluación y mejora de la calidad de la enseñanza.

De acuerdo con lo anterior, la organización de una asignatura perteneciente a un Plan de Estudios determinado corresponde a los Departamentos, bajo la supervisión de la Comisión de Ordenación Académica de la Escuela o Facultad.

1.2.4. La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

Datos generales Los orígenes de los estudios de Telecomunicación en España se remontan a un Real Decreto de 1913 por el que se crea la Escuela General de Telegrafía, con tres secciones de distinto nivel, una de las cuales se dedica a Estudios Superiores. Otro Real Decreto, de 1920, crea el título de Ingeniero de Telecomunicación, al que inicialmente sólo pueden acceder los Oficiales del Cuerpo de Telégrafos, tras cuatro años de estudios después de una oposición de ingreso.

A partir de 1935 pueden concurrir libremente todos aquéllos que deseen cursar dichos estudios. En 1957 la Escuela pasa a depender del Ministerio de Educación, ya con el nombre de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. En 1971 la escuela se integra, junto con las demás escuelas de ingeniería de Madrid, en la recién constituida Universidad Politécnica de Madrid. En los últimos años la dimensión y actividades de la Escuela han crecido enormemente. En la actualidad es uno de los centros con mayor demanda, donde estudian unos 4000 alumnos y se gradúan 300–350 ingenieros cada año.

Docencia Actualmente en la Escuela se imparte la siguiente docencia:

- Enseñanzas conducentes a la obtención del título de Ingeniero de Telecomunicación (Plan de Estudios de 1994).
- Enseñanzas conducentes a la obtención del título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación (Plan de Estudios de 2010).

- 7 másteres oficiales, dentro del proceso de adaptación al Espacio Europeo de Enseñanza Superior.
- 6 programas de doctorado, impartidos por los Departamentos adscritos a la Escuela.
- 8 másteres propios de la Universidad Politécnica de Madrid.

Investigación En la Escuela trabajan más de 250 profesores investigadores y un número similar de estudiantes de doctorado. La labor de investigación desarrollada genera cada año una media 30–35 tesis doctorales, 120–140 artículos en revistas científicas y 180–200 comunicaciones en congresos. La facturación por proyectos de investigación pública y privada supera los 15 millones de euros anuales [15]. Existen 10 cátedras de empresa y numerosos convenios específicos con empresas. Es destacable que, de los 375 contratos suscritos por la Universidad Politécnica de Madrid en el año académico 2009–10, a la Escuela corresponden 54, siendo la cifra más alta de todas las escuelas de la Universidad Politécnica de Madrid.

1.2.5. El Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones

Datos generales El Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones (SSR) fue creado en 1987. Está adscrito al área de conocimiento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, y sus áreas de trabajo son las radiocomunicaciones, el tratamiento de señal y las comunicaciones. Es el Departamento más grande de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, y uno de los mayores de dicha Universidad.

Docencia El Departamento imparte actualmente asignaturas del Plan de Estudios 1994 de Ingeniero de Telecomunicación y del Plan de Estudios 2010 de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Además imparte, en su totalidad, el Máster Oficial/Doctorado en Tecnologías y Sistemas de Comunicaciones. Por otro lado, participa en dos programas de máster propios de la Universidad Politécnica de Madrid: Máster en Sistemas y Redes de Comunicaciones y Máster en Tecnología Aeroespacial.

Investigación En el Departamento se integran actualmente 62 profesores y más de 100 investigadores contratados y becarios, organizados en 10 grupos de investigación. Colabora con las empresas más significativas del sector, así como en

proyectos de investigación públicos nacionales e internacionales. Constituye una de las entidades de investigación más importantes del país, con gran proyección internacional.

De acuerdo con datos publicados por la Universidad Politécnica de Madrid correspondientes al año 2009, el personal del Departamento participó en ese año en 192 proyectos de investigación (con financiación pública o privada). Se generaron 10 tesis doctorales leídas, 50 artículos en revistas, 155 ponencias en congresos y 9 solicitudes de patentes.

1.3. Contexto curricular

El contexto curricular viene determinado por el Plan de Estudios en el que se enmarcan las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, esto es, el Plan 2010 [16], que sustituye al anterior Plan 1994. El Plan de Estudios fue publicado en el Boletín Oficial del Estado en el año 2010 [17]. Su proceso de implantación ha comenzado en el curso 2010–11.

El Plan 2010 se adapta a los requisitos establecidos reglamentariamente, que establecen la estructura y duración de los estudios, así como las competencias que deberán adquirir los estudiantes [5] [10] [18].

Antes de analizar el contenido del Plan de Estudios, se recogen a continuación las condiciones establecidas por la normativa para los títulos de grado en Ingeniería de Telecomunicación.

1.3.1. Directrices y condiciones aplicables a los títulos de grado en Ingeniería de Telecomunicación

Las enseñanzas de Grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general, en una o varias disciplinas, orientada a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional.

El diseño de los títulos de grado en la rama de Ingeniería y Arquitectura debe adecuarse a las siguientes directrices [5]:

- Los planes de estudios tendrán 240 créditos, que contendrán toda la formación teórica y práctica que el estudiante deba adquirir.
- El Plan de Estudios deberá contener un mínimo de 60 créditos de formación básica. Al menos 36 de esos créditos estarán vinculados a algunas de las materias siguientes: Empresa, Expresión Gráfica, Física, Informática, Matemáticas, Química. Estas materias deberán concretarse en asignaturas con un mínimo de 6 créditos cada una, y serán ofertadas en la primera mitad del Plan de Estudios.

- Las enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa de un trabajo fin de grado. Este trabajo tendrá entre 6 y 30 créditos, deberá realizarse en la fase final del Plan de Estudios, y estará orientado a la evaluación de competencias asociadas al título.

Además, los planes de estudios están sometidos a los siguientes procesos de verificación:

- Una vez elaborados los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos oficiales, deberán ser verificados por el Consejo de Universidades, el cual enviará el Plan de Estudios a la ANECA para que elabore un informe de evaluación.
- Los títulos universitarios oficiales deberán someterse a un procedimiento de evaluación cada 6 años, con el fin de mantener su acreditación.

En el caso concreto de títulos de grado en Ingeniería de Telecomunicación, que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación, se establecen requisitos adicionales en cuanto a la estructura del Plan de Estudios [10]. Así, deberán cursarse:

- El bloque de formación básica de 60 créditos;
- El bloque común a la rama de telecomunicación de 60 créditos;
- Un bloque completo de 48 créditos, correspondiente a cada ámbito de tecnología específica;
- Se realizará un trabajo fin de grado de 12 créditos.

1.3.2. Plan de Estudios 2010

1.3.2.1. Estructura general

La titulación de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación requiere una dedicación por parte del estudiante de 240 créditos ECTS y está estructurada en cuatro cursos académicos, con dos semestres cada uno de aproximadamente 30 créditos ECTS. Cada crédito equivale a unas 27 horas de trabajo del estudiante, lo que supone un esfuerzo de 40 horas semanales aproximadamente [16].

La titulación está estructurada en una *parte común*, que deberá ser cursada por todos los estudiantes y que tiene asignados 171 créditos, y cuatro *itinerarios de especialización*, en los que los alumnos reciben formación adicional en una de las tecnologías específicas.

Los 240 créditos ECTS del Plan de Estudios están distribuidos en los tipos de materias siguientes, conforme al Real Decreto 1393/2007 [5]:

- Formación básica: 63;
- Obligatorias (incluyendo obligatorias de tecnología específica): 150;
- Optativas y Prácticas externas: 15;
- Trabajo fin de grado: 12.

Los 63 créditos ECTS de formación básica están vinculados a las materias básicas Empresa, Física, Informática y Matemáticas, que se encuentran entre las que determina el Real Decreto 1393/2007 para la rama de Ingeniería y Arquitectura (véase §1.3.1). De ese total de 63 créditos, 36 se desarrollan en 6 asignaturas de 6 créditos ECTS cada una y los 27 restantes se agrupan en otras 6 asignaturas, de 4.5 créditos ECTS cada una. A la hora de diseñar estas asignaturas se han tenido en cuenta las condiciones que establece el Real Decreto 1393/2007 en cuanto a su duración, así como los que fija la Orden CIN/352/2009 en cuanto a su contenido.

Los 150 créditos ECTS de materias obligatorias se han planificado para que el estudiante obtenga: las competencias comunes a la rama de telecomunicación; las competencias de tecnología específica del itinerario elegido; y determinadas competencias de tecnología específica de los itinerarios distintos al elegido, que se consideran características de la titulación y que por tanto son obligatorias para todos los estudiantes.

Los 15 créditos ECTS de materias optativas permiten al alumno completar su currículum mediante diferentes procedimientos.

1.3.2.2. Itinerarios y habilitación profesional

Los itinerarios ofrecidos en la titulación son los siguientes:

- Sistemas de Telecomunicación;
- Telemática.
- Sistemas Electrónicos;
- Sonido e Imagen;

Cada uno de estos itinerarios está diseñado para cumplir los requisitos que habilitan para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación en la especialidad del mismo nombre. Además, los graduados de cualquiera de los itinerarios cumplen los requisitos de acceso a los estudios de Máster en Ingeniería de Telecomunicación establecidos por la Orden CIN/355/2009 [11].

1.3.2.3. Competencias

El Plan de Estudios define una serie de competencias que los alumnos deben adquirir [16]. Éstas pueden dividirse en:

- Competencias generales (CG): se derivan de los objetivos definidos para el título: que los alumnos estén capacitados para analizar, diseñar, implementar, explotar y gestionar sistemas, redes, servicios, equipos, componentes o procesos del ámbito de la Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para cumplir las especificaciones requeridas.
- Competencias específicas comunes: se subdividen en competencias específicas de formación básica (CEB), competencias específicas comunes a la rama de telecomunicación (CECT) y competencia del trabajo fin de grado (CE-TFG).
- Competencias específicas particulares de cada una de las cuatro ramas de tecnología específica: Sistemas de Telecomunicación (CE-ST), Telemática (CE-TL), Sistemas Electrónicos (CE-SE) y Sonido e Imagen (CE-SI).

Por su interés para la planificación de las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, se incluye en el Anexo §B la definición de cada una de las competencias generales, de las específicas comunes a la rama de telecomunicación y de las competencias de tecnología específica de Sistemas de Telecomunicación.

1.3.2.4. Metodología utilizada para el proceso de enseñanza-aprendizaje

En el Plan de Estudios se han previsto las siguientes técnicas de enseñanza, que se utilizarán en función de las características específicas de cada materia y de cada asignatura dentro de cada materia [16]:

- Lección magistral;
- Estudio de casos;
- Resolución de problemas;
- Aprendizaje basado en problemas;
- Aprendizaje basado en proyectos;
- Contrato de aprendizaje.

Se entiende que esta lista no es exhaustiva, de modo que en cada asignatura pueden utilizarse otras técnicas, además de las anteriores, que resulten adecuadas.

1.3.2.5. Organización por módulos, materias y asignaturas

El Plan de Estudios se estructura en *módulos, materias y asignaturas*. Los módulos son agrupaciones de materias definidas en consonancia con la Orden CIN/352/2009 [10]. Las materias a su vez se desarrollan en asignaturas.

Módulos En el Plan se incluyen los siguientes módulos:

1. Módulo de formación básica, destinado a la adquisición por parte del alumno de las competencias de formación básica, correspondientes a materias básicas de la rama de conocimiento Ingeniería y Arquitectura, de acuerdo con el Real Decreto 1393/2007 [5]. Consta de 63 créditos ECTS.
2. Módulo de formación común a la rama de telecomunicación, destinado a la adquisición por parte del alumno de las competencias comunes a la rama de telecomunicación. Consta de 64,5 créditos ECTS.
3. Módulos de tecnología específica. Hay uno por itinerario, de carácter obligatorio, destinado a la adquisición por parte del alumno de las competencias de tecnología específica en el itinerario elegido. Estos módulos son de 48 ó 51 créditos ECTS, según itinerario. Cada módulo de tecnología específica consta de una sola materia, que se desarrolla en varias asignaturas.
4. Módulo de trabajo fin de grado. Consiste en un proyecto original e individual, desarrollado en el ámbito de una de las tecnologías específicas de la Ingeniería de Telecomunicación de naturaleza profesional, en el que se deben sintetizar e integrar las competencias adquiridas. Tiene asignados 12 créditos ECTS.

Además de los módulos anteriores, exigidos por la Orden CIN/352/2009, se han definido los siguientes:

5. Módulo de formación transversal y complementaria. Incluye las competencias sobre lenguas extranjeras preceptivas en la Universidad Politécnica de Madrid, así como aquellas que se consideran necesarias para el ejercicio de la profesión de Ingeniería Técnica de Telecomunicación y que no están incluidas explícitamente en los módulos anteriores. Consta de 13,5 créditos ECTS.
6. Módulos de formación específica horizontal. Existe uno para cada itinerario, compuesto por asignaturas obligatorias que proporcionan ciertas competencias de los itinerarios no elegidos. Cada uno de estos módulos consta de 24 ó 21 créditos ECTS, según itinerario.

7. Módulo optativo: permite al alumno completar su currículum mediante alguno de los siguientes procedimientos: prácticas externas realizadas en empresas; estudios en Universidades extranjeras; actividades universitarias culturales, deportivas o similares; o asignaturas previstas en el Plan de Estudios para extender estudios a ramas afines o para intensificación y profundización de conocimientos. Está formado por una sola materia, y tiene asignados 15 créditos ETCS.

Materias Las tablas 1.1–1.5 indican las materias de las que consta cada uno de los módulos, salvo el trabajo fin de grado (módulo 4) y el optativo (módulo 7).

El Plan de Estudios contiene una descripción detallada de todas las materias [16]. Para cada una define:

- Competencias a cuya adquisición contribuye la materia.
- Resultados deseados (relacionados con las competencias que se deben adquirir).
- Requisitos, que se concretan en la necesidad de haber cursado ciertas materias previamente.
- Actividades formativas (clases teóricas, clases prácticas, prácticas de laboratorio, tutorías, trabajo del alumno), con indicación del número de créditos ECTS asociado a cada una, y metodología docente utilizada en cada actividad.
- Sistemas de evaluación y de calificación. En todas las materias salvo en la correspondiente a trabajo fin de grado y en la optativa se prevé una evaluación continuada a lo largo del curso, con un peso entre 30 % y 40 %, y mediante examen final, con un peso entre 60 % y 70 %. La calificación será numérica de 0 a 10.
- Breve descripción de los contenidos.

Asignaturas El Plan de Estudios define el desarrollo de cada materia en una o varias asignaturas. Las tablas 1.6 y 1.7 muestran las asignaturas del Plan de Estudios correspondientes a los módulos de formación básica (módulo 1), formación común a la rama de telecomunicación (2), tecnología específica (3) y formación transversal y complementaria (5). No se reflejan el trabajo fin de grado (módulo 4) ni las asignaturas optativas (módulo 7). Tampoco aparece de forma diferenciada el módulo de formación específica horizontal (6), ya que éste se concreta, para cada

1.3. CONTEXTO CURRICULAR

Tabla 1.1: Materias del módulo de formación básica (módulo 1) del Plan de Estudios 2010

| Código | Materia | Carácter | Créditos |
|--------|-------------|-------------|----------|
| M1 | Matemáticas | Obligatoria | 28,5 |
| M2 | Física | Obligatoria | 24 |
| M3 | Empresa | Obligatoria | 4,5 |
| M4 | Informática | Obligatoria | 6 |

Tabla 1.2: Materias del módulo de formación común a la rama de telecomunicación (módulo 2) del Plan de Estudios 2010

| Código | Materia | Carácter | Créditos |
|--------|--------------------------|-------------|----------|
| M5 | Electrónica | Obligatoria | 15 |
| M6 | Señales y Comunicaciones | Obligatoria | 18 |
| M7 | Sistemas de Transmisión | Obligatoria | 16,5 |
| M8 | Redes y Servicios | Obligatoria | 15 |

Tabla 1.3: Materias del módulo de tecnología específica (módulo 3) del Plan de Estudios 2010

| Código | Materia | Carácter | Créditos |
|--------|---|--------------|----------|
| M9 | Tecnol. Esp. Sistemas de Telecomunicación | Oblig. itin. | 51 |
| M10 | Tecnol. Esp. Telemática | Oblig. itin. | 51 |
| M11 | Tecnol. Esp. Sistemas Electrónicos | Oblig. itin. | 48 |
| M12 | Tecnol. Esp. Sonido e Imagen | Oblig. itin. | 48 |

Tabla 1.4: Materias del módulo de formación transversal y complementaria (módulo 5) del Plan de Estudios 2010

| Código | Materia | Carácter | Créditos |
|--------|---------------------------------------|-------------|----------|
| M13 | Form. Complement. de Telecomunicación | Obligatoria | 7,5 |
| M14 | Lengua Inglesa | Obligatoria | 6 |

CAPÍTULO 1. CONTEXTO DEL PROYECTO DOCENTE

Tabla 1.5: Materias del módulo de formación específica horizontal (módulo 6) del Plan de Estudios 2010

| Itinerario de Sistemas de Telecomunicación | | | |
|--|------------------------------------|--------------|----------|
| Código | Materia | Carácter | Créditos |
| M10 | Tecnol. Esp. Telemática | Oblig. itin. | 9 |
| M11 | Tecnol. Esp. Sistemas Electrónicos | Oblig. itin. | 6 |
| M12 | Tecnol. Esp. Sonido e Imagen | Oblig. itin. | 6 |

| Itinerario de Telemática | | | |
|--------------------------|---|--------------|----------|
| Código | Materia | Carácter | Créditos |
| M9 | Tecnol. Esp. Sistemas de Telecomunicación | Oblig. itin. | 9 |
| M11 | Tecnol. Esp. Sistemas Electrónicos | Oblig. itin. | 6 |
| M12 | Tecnol. Esp. Sonido e Imagen | Oblig. itin. | 6 |

| Itinerario de Sistemas Electrónicos | | | |
|-------------------------------------|---|--------------|----------|
| Código | Materia | Carácter | Créditos |
| M9 | Tecnol. Esp. Sistemas de Telecomunicación | Oblig. itin. | 9 |
| M10 | Tecnol. Esp. Telemática | Oblig. itin. | 9 |
| M12 | Tecnol. Esp. Sonido e Imagen | Oblig. itin. | 6 |

| Itinerario de Sonido e Imagen | | | |
|-------------------------------|---|--------------|----------|
| Código | Materia | Carácter | Créditos |
| M9 | Tecnol. Esp. Sistemas de Telecomunicación | Oblig. itin. | 9 |
| M10 | Tecnol. Esp. Telemática | Oblig. itin. | 9 |
| M11 | Tecnol. Esp. Sistemas Electrónicos | Oblig. itin. | 6 |

itinerario, en asignaturas pertenecientes a los módulos de tecnología específica de los restantes itinerarios.

A diferencia de lo que ocurría en planes de estudio anteriores de la misma Escuela, en el Plan 2010 no existen asignaturas específicas de laboratorio, sino que las prácticas de laboratorio se integran dentro de las asignaturas correspondientes.

1.3.2.6. La materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación”

La materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación”, a la cual pertenecen las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, tiene como requisitos que el alumno haya superado previamente las materias de “Matemáticas” y “Física” [16].

Esta materia tiene asociado un conjunto de competencias específicas, las cuales aparecen recogidas en el Anexo §B.3. Los resultados que se pretenden conseguir son [16]:

- Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión. y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.
- Capacidad de análisis de componentes y sus especificaciones para sistemas de comunicaciones guiadas y no guiadas.
- Conocimientos para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación.
- Conocimientos para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos
- Conocimiento de los procedimientos de gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias.
- Conocer las técnicas de procesamiento analógico y digital de señal para analizar, codificar, procesar y transmitir información multimedia.
- Conocimientos de infraestructuras de redes de comunicaciones, troncales, metropolitanas y de acceso, redes ópticas y técnicas empleadas en enlaces ópticos de alta tasa binaria.

CAPÍTULO 1. CONTEXTO DEL PROYECTO DOCENTE

Tabla 1.6: Asignaturas de los cursos primero a tercero del Plan de Estudios 2010

| Asignaturas | Créditos | Semestre |
|--|----------|----------|
| Álgebra | 6 | 1 |
| Cálculo | 6 | 1 |
| Física General I | 6 | 1 |
| Introducción a la Ingeniería de Telecomunicación | 3 | 1 |
| Fundamentos de los Sistemas Telemáticos | 4,5 | 1 |
| Física General II | 4,5 | 2 |
| Análisis Vectorial | 6 | 2 |
| Introducción al Análisis de Circuitos | 4,5 | 2 |
| Introducción a la Electrónica | 4,5 | 2 |
| Programación | 6 | 2 |
| Inglés I | 3 | 2 |
| Fundamentos de Gestión Empresarial | 4,5 | 3 |
| Electromagnetismo | 4,5 | 3 |
| Electrónica e Instrumentación Básicas | 4,5 | 3 |
| Señales y Sistemas | 6 | 3 |
| Señales Aleatorias | 4,5 | 3 |
| Inglés II | 3 | 3 |
| Electrónica Digital | 3 | 3 |
| Métodos Matemáticos | 4,5 | 4 |
| Electrónica Analógica | 3 | 4 |
| Teoría de la Comunicación | 6 | 4 |
| Campos y Ondas en Telecomunicación | 4,5 | 4 |
| Redes y Servicios de Telecomunicación | 6 | 4 |
| Análisis y Diseño del Software | 4,5 | 4 |
| Circuitos Electrónicos | 3 | 5 |
| Sistemas Digitales I | 4,5 | 5 |
| Teoría de la Información | 4,5 | 5 |
| Tratamiento Digital de Señales | 6 | 5 |
| Análisis y Diseño de Circuitos | 3 | 5 |
| Sistemas de Transmisión | 4,5 | 5 |
| Redes de Ordenadores | 4,5 | 5 |
| Organización de Empresas | 4,5 | 6 |
| Sistemas Digitales II | 3 | 6 |
| Sistemas de Energía | 4,5 | 6 |
| Radiación y Propagación | 3 | 6 |
| Comunicaciones Ópticas | 4,5 | 6 |
| Electrónica de Comunicaciones | 4,5 | 6 |
| Computación en Red | 4,5 | 6 |

1.3. CONTEXTO CURRICULAR

Tabla 1.7: Asignaturas de cuarto curso del Plan de Estudios 2010

| Itinerario de Sistemas de Telecomunicación | | |
|--|----------|----------|
| Asignaturas | Créditos | Semestre |
| Microondas | 4,5 | 7 |
| Radiocomunicaciones | 6 | 7 |
| Transmisión Digital / Comunicaciones Digitales | 6 | 7 |
| Antenas | 4,5 | 7 |
| Comunicaciones Móviles | 6 | 7 |
| Sistemas de Telecomunicación | 6 | 8 |
| Subsistemas de Radiofrecuencia | 4,5 | 8 |
| Sistemas de Radiodeterminación | 4,5 | 8 |

| Itinerario de Telemática | | |
|---|-----|---|
| Redes Corporativas | 6 | 7 |
| Seguridad en Sistemas y Redes de Telecomunicación | 4,5 | 7 |
| Redes de Comunicaciones Móviles | 6 | 7 |
| Ingeniería Web | 6 | 7 |
| Centros de Datos y de Provisión de Servicios | 4,5 | 7 |
| Redes y Servicios de Radio | 4,5 | 8 |
| Dimensionado y Operación de Redes | 6 | 8 |
| Ingeniería de Sistemas y Servicios Telemáticos | 4,5 | 8 |

| Itinerario de Sistemas Electrónicos | | |
|---|-----|---|
| Arquitectura de Procesadores | 4,5 | 7 |
| Fabricación de Equipos Electrónicos | 4,5 | 7 |
| Sistemas Electrónicos Analógicos y Mixtos | 6 | 7 |
| Instrumentación Electrónica | 6 | 7 |
| Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales | 6 | 7 |
| Sistemas Electrónicos de Control | 4,5 | 8 |
| Sistemas para Conectividad y Electrónica de Consumo | 6 | 8 |
| Ingeniería de Sistemas Electrónicos | 4,5 | 8 |

| Itinerario de Sonido e Imagen | | |
|---|---|---|
| Tratamiento Digital de Voz y Audio | 6 | 7 |
| Tratamiento Digital de Imágenes y Vídeo | 6 | 7 |
| Equipos y Sistemas Audiovisuales | 6 | 7 |
| Difusión y Servicios de Red | 6 | 7 |
| Comunicaciones Audiovisuales | 6 | 7 |
| Televisión | 6 | 8 |
| Producción Multimedia | 6 | 8 |

Para ello se prevén las siguientes actividades:

- Clases teóricas;
- Clases prácticas;
- Prácticas de laboratorio;
- Tutorías y seminarios;
- Trabajo del alumno;

las cuales se realizarán usando algunas de las técnicas señaladas en §1.3.2.4.

La evaluación se llevará a cabo mediante evaluación continua y examen final, de acuerdo con lo indicado en §1.3.2.5, y utilizando los siguientes tipos de pruebas:

- Prueba escrita, con preguntas de respuesta abierta o tipo test, sobre cuestiones de teoría (40 %–50 %);
- Resolución de problemas (40 %–50 %);
- Prácticas de laboratorio (0 %–20 %);
- Trabajos académicos (su peso afectará a los porcentajes anteriores)

La materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación” se desarrolla en las asignaturas mostradas en la parte superior de la tabla 1.7. Entre éstas se encuentran *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, de 6 créditos ECTS cada una. El Plan contiene una descripción de los contenidos de cada asignatura [19] (algunas de estas descripciones, concretamente las de las asignaturas que tienen relación con las dos mencionadas, se recogen en el Anexo §C).

1.3.2.7. Las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*

En el Plan 2010, las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles* desarrollan parte de la materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación”, que representa la totalidad del módulo de tecnología específica correspondiente al itinerario de Sistemas de Telecomunicación. Por otro lado, estas asignaturas no pertenecen al módulo de formación específica horizontal de ninguno de los restantes itinerarios [16]. Por tanto se cursan únicamente dentro de la materia señalada.

El análisis de la relación de las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles* entre sí y con otras del Plan de Estudios (asignaturas de las que depende y asignaturas que dependen de ella) se deja para los capítulos §3 y §4 (véanse §3.3 y §4.3), por considerarse esta labor parte de la programación de las asignaturas propiamente dicha.

1.3.3. Normativa de evaluación en la Universidad Politécnica de Madrid

La Universidad Politécnica de Madrid aprobó en 2010 una “Normativa reguladora de los sistemas de evaluación en los procesos formativos vinculados a los títulos de grado y máster universitario con planes de estudio adaptados al Real Decreto 1393/2007” [20]. En ella se recogen los siguientes aspectos, que deben tenerse en cuenta al hacer la planificación de una asignatura.

Sistemas de evaluación En todas las asignaturas de las titulaciones de la Universidad Politécnica de Madrid se implantarán sistemas de *evaluación continua*. Tales sistemas contemplarán el establecimiento de un conjunto de pruebas y actividades de evaluación, que podrán incluir o no pruebas de evaluación globales al finalizar el periodo de docencia de las asignaturas.

Estas pruebas y actividades estarán programadas a lo largo del periodo durante el que se desarrolle el proceso formativo vinculado a la asignatura, y deben permitir valorar el progreso de cada estudiante a lo largo de dicho periodo.

Los sistemas de evaluación de las asignaturas también contemplarán la posibilidad de evaluar los resultados de aprendizaje a través de *sólo prueba final*, formada por uno o más exámenes y actividades de evaluación global de la asignatura.

Los dos sistemas de evaluación serán excluyentes durante el periodo de convocatoria ordinaria, de forma que el estudiante sólo podrá optar por uno de ellos.

La evaluación de las asignaturas en las convocatorias extraordinarias se realizará exclusivamente a través del sistema de sólo prueba final.

Excepcionalmente, en los sistemas de evaluación mediante sólo prueba final, también se podrá exigir la asistencia del estudiante a aquellas actividades de evaluación que estando distribuidas a lo largo del curso estén relacionadas con la evaluación de resultados de aprendizaje de difícil calificación en una prueba final. En estos casos, el examen final de la convocatoria ordinaria no incluirá aquellas pruebas que evalúen estos resultados de aprendizaje.

Los sistemas de evaluación podrán contemplar la posibilidad de liberar bloques temáticos de la asignatura asociados a determinados resultados de aprendizaje.

Pruebas de evaluación El coordinador de la asignatura, o profesor en quien delegue, informará, antes del comienzo del examen, sobre las normas de realización del mismo, indicando la puntuación detallada de cada una de sus partes, la duración del examen, las fechas de publicación de las calificaciones provisionales y la fecha de revisión del examen, de acuerdo con los periodos establecidos.

En los exámenes finales, salvo que el tipo de examen no lo permita, la solución de las preguntas del examen se hará pública dentro de los dos días hábiles siguientes a la finalización de la prueba

Sistemas de calificación La calificación del nivel de aprendizaje alcanzado en cada asignatura o actividad formativa del plan de estudios se realizará usando tres sistemas de calificación:

- Calificación numérica: número entre 0 y 10, con un sólo decimal, de forma que una calificación de 5 o mayor corresponde a haber superado la asignatura.
- Calificación literal: se emplean los siguientes intervalos: 0–4,9: suspenso; 5–6,9: aprobado; 7–8,9: notable; 9–10: sobresaliente. La mención de matrícula de honor podrá ser otorgada a alumnos que hayan obtenido una calificación igual o superior a 9. Su número no podrá exceder del 5 % de los alumnos matriculados en la materia, salvo que el número de alumnos matriculados sea inferior a 20, en cuyo caso se podrá conceder una sola matrícula de honor.
- Calificación europea: se clasifican los alumnos que han aprobado según la escala siguiente: A el 10 % superior, B el 25 % siguiente, C el 30 % siguiente, D el 25 % siguiente y E el 10 % siguiente. Para los alumnos que no hayan aprobado: FX indica una nota de 4–4,9, y F indica 0–3,9.

1.3.4. Las guías de aprendizaje en la Universidad Politécnica de Madrid

La Universidad Politécnica de Madrid ha establecido la “guía de aprendizaje” como documento fundamental que recoge la planificación de una asignatura [21]. Este documento debe ser elaborado por los profesores encargados de impartir la asignatura (con o sin ayuda de otros profesores), y tiene tres objetivos principales:

- Garantizar la integridad del Plan de Estudios, mediante la descripción de la aportación de la asignatura a los objetivos del mismo de acuerdo con las condiciones dadas por el Centro.
- Servir de contrato académico entre profesor y estudiante por el que se establecen las condiciones en las que se va a desarrollar el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación. Es un documento público y supone un compromiso que podrá ser requerido para cualquier tipo de evaluación o acreditación interna o externa. Para el alumno es la referencia en cuanto a sus obligaciones para superar la asignatura.

- Facilitar los procesos de mejora de la asignatura. La guía de aprendizaje, que recoge los elementos principales de la actividad docente prevista, es de gran utilidad para analizar, una vez finalizado el periodo de docencia, qué cambios son convenientes para posteriores periodos.

La guía de aprendizaje pone énfasis en estimar las horas necesarias de trabajo del estudiante. El estudiante deberá tener también información de cuáles son los requisitos para poder cursar la asignatura con la dedicación y trabajo programados. Estos requisitos se concretan normalmente en términos de asignaturas que deben haber sido superadas previamente. La incorporación de sistemas de evaluación continua también supone una mayor exigencia en cuanto a la descripción de las herramientas y criterios de evaluación que se aplicarán en la asignatura.

1.3.4.1. Elaboración de la guía

Competencias Los títulos oficiales definen una serie de competencias que el alumno debe adquirir en el programa formativo, distinguiendo las competencias que corresponden a cada módulo o materia (véanse §1.3.1 y §1.3.2). Un título queda asociado a un conjunto de competencias que capacitan para el ejercicio profesional.

Dependiendo de su amplitud, cada competencia puede alcanzarse por medio de una o de varias asignaturas.

Resultados de aprendizaje Los objetivos de la asignatura se formulan mediante “resultados de aprendizaje”. Éstos son enunciados acerca de lo que se espera que el estudiante sea capaz de realizar (hacer, comprender o demostrar) una vez terminado el proceso de aprendizaje.

Los resultados de aprendizaje de la asignatura deben estar relacionados con algunas de las competencias establecidas en el título académico. Un resultado de aprendizaje está directamente relacionado con una asignatura, mientras que una competencia puede alcanzarse superando varias asignaturas. Es deseable que en cada asignatura se especifiquen no sólo las competencias a cuya adquisición contribuye, sino el grado de dicha contribución, mediante una escala numérica.

En cuanto a la concreción que deben tener los resultados de aprendizaje, como criterio orientativo se sugiere que haya 6–12 resultados de aprendizaje para una asignatura de 6 ECTS.

Indicadores de logro Los resultados de la asignatura deben ser observables, para permitir la evaluación del estudiante. Por esta razón, asociados a los resultados de aprendizaje deben definirse indicadores concretos y observables, denominados “indicadores de logro”. Estos indicadores son análogos a los objetivos

específicos en la planificación tradicional de asignaturas (véase más adelante en §2.1.2 una clasificación de los objetivos educativos).

Los indicadores de logro resumen todo lo que se espera que el alumno sepa hacer una vez cursada con aprovechamiento la asignatura. Son los elementos a través de los cuales se mide el aprendizaje, y que permiten calificar al alumno.

Debe elaborarse una tabla en la que se recoja la relación existente entre indicadores de logro y resultados de aprendizaje. De esta forma el alumno sabe qué y cómo debe aprender, y el profesor tiene una referencia para elaborar materiales docentes, generar actividades y evaluar al alumno.

Para la evaluación pueden seleccionarse algunos indicadores “mínimos” que sean considerados centrales o básicos en la asignatura, y sobre los cuales se realice una evaluación especialmente exigente. Estos indicadores también servirán para conformar los aspectos centrales de la docencia.

Planificación de la acción docente Se recomienda que se adopte en la planificación un criterio simple que garantice una distribución homogénea del trabajo del alumno, preferiblemente basado en semanas como unidad de organización. Con este criterio, u otro que en su caso establezca el centro, se debe elaborar una planificación temporal que defina, a partir de los resultados de aprendizaje, los contenidos, las actividades de aprendizaje dentro y fuera del aula (especificando duración estimada y lugar), metodología utilizada y, en su caso, actividades de evaluación formativa o sumativa.

Respecto a la planificación tradicional, esto supone un mayor detalle en la descripción de las actividades y métodos utilizados, y un mayor compromiso en la temporización del curso.

La Universidad Politécnica de Madrid prevé unas 18 semanas de periodo lectivo por semestre, que descontando el tiempo dedicado a exámenes se reducen a 16 ó 17 semanas lectivas aproximadamente [21].

Evaluación Deberán precisarse:

- Criterios generales de evaluación de indicadores de logro, así como criterios específicos de evaluación de los indicadores mínimos, si procede.
- Tipos de pruebas y actividades de evaluación.
- Fechas sugeridas para la realización de cada una de las actividades de evaluación previstas.
- Para cada prueba de evaluación, estimación del número de horas de duración de la misma. En el caso de ser pruebas que se realicen de forma individual y

separada para cada estudiante se deberán especificar el número de estudiantes previstos y la duración de cada prueba para cada estudiante. Asimismo, en el caso de pruebas que se realicen en subgrupos de forma aislada y separada, deberán especificarse el número de subgrupos y la duración prevista de la prueba en cada subgrupo.

La generalización de los sistemas de evaluación continua a todas las asignaturas (véase§1.3.3) puede plantear problemas de coordinación y logística de una mayor complejidad que la actual. Por ello, la propuesta que se elabore en la guía de aprendizaje elabore deberá ser posteriormente coordinada con las de otras asignaturas.

1.3.4.2. Estructura de la guía

Los apartados que debe incluir la guía de aprendizaje se basan en los conceptos introducidos en §1.3.4.1, y son los siguientes [21]:

1. Resultados de aprendizaje:
 - (a) Relación con las competencias asignadas a la asignatura, especificando, en pesos relativos, la contribución de cada resultado de aprendizaje a la adquisición de la competencia.
 - (b) Indicadores asociados a los resultados de aprendizaje.
 - (c) Indicadores mínimos, que se consideran de obligada adquisición y son evaluados de forma especial.
2. Unidades temáticas y su distribución temporal a lo largo del periodo de su docencia:
 - (a) Programa de contenidos, indicando su relación con los resultados de aprendizaje.
 - (b) Descripción de las actividades de enseñanza, aprendizaje y evaluación.
 - (c) Metodología en la que se basan las actividades.
 - (d) Calendario de actividades de trabajo para el estudiante.
3. Sistema de evaluación y calificación:
 - (a) Sistema general de evaluación, relacionando ésta con las actividades programadas.
 - (b) Normas específicas, si procede, de evaluación de contenidos mínimos.
4. Recursos de enseñanza y aprendizaje:

- (a) Material de estudio: bibliografía, recursos web, otros.
- (b) Equipamiento: instrumentación de laboratorio, aplicaciones software, otros.
- (c) Locales para trabajo no presencial: laboratorios con libre acceso, salas para trabajo en grupo, otros.

1.4. Contexto profesional

El contexto profesional viene determinado por el tipo de actividades que previsiblemente los graduados llevarán a cabo en su vida profesional. Deben distinguirse dos niveles: uno general, representado por el entorno profesional de los ingenieros de telecomunicación e ingenieros técnicos de telecomunicación, y otro más específico, representado por las actividades profesionales directamente relacionadas con las materias impartidas en las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*. A continuación se analiza cada uno de estos niveles.

1.4.1. La actividad profesional del ingeniero de telecomunicación

La formación que se da a los estudiantes debe tener en cuenta las necesidades de la sociedad, especialmente de la industria y de los servicios relacionados con la profesión.

El Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación analiza cada cierto número de años la situación socio-profesional del colectivo por medio del estudio PESIT (Estudio Socio-Profesional sobre el Ingeniero de Telecomunicación). La más reciente edición de este estudio es la sexta, presentada en 2005. La encuesta se realizó por correo electrónico, con una participación del 37 % de los colegiados. Se proporcionan resultados por comunidades autónomas, además de valores medios nacionales.

Con las cautelas pertinentes respecto a la representatividad de los resultados indicados en el estudio (la encuesta es voluntaria y se ha realizado sólo a los colegiados), en él aparecen reflejados los siguientes aspectos destacables [22] [23]:

- La edad media de los encuestados es de 36 años. El 70 % son menores de 40 años. Esto tiene relación con el gran número de escuelas de ingenieros de telecomunicación que han sido creadas recientemente.
- Los porcentajes de hombres y mujeres son 87 % y 13 % respectivamente. No obstante, la proporción de mujeres está aumentando en los últimos años.

- El 40 % de los ingenieros colegiados trabajan en la Comunidad de Madrid. En segundo lugar se encuentra Cataluña con un 14 %.
- La tasa de desempleo respecto al total de ingenieros activos es del 5,4 %, de los cuales el 1,7 % están buscando su primer empleo. Estos valores son muy bajos.
- Respecto a estudios anteriores se aprecia una bajada de la calidad del empleo, representada por la proporción de contratos fijos o indefinidos, que se sitúa en 82 %; así como una reducción del poder adquisitivo.
- Cada vez es mayor el número de ingenieros de telecomunicación empleados en sectores no específicamente tecnológicos. Sólo el 66 % trabajan en el sector de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.
- Hay un 10 % de encuestados que trabajan sólo por cuenta propia, y un 8,1 % que trabajan por cuenta propia y por cuenta ajena. Estos porcentajes han aumentado significativamente desde 1996. De los trabajadores por cuenta propia, la mayor parte trabajan sin asalariados a su cargo.
- El 13 % de los ingenieros no desempleados trabajan en la Administración Pública. De éstos, la mitad lo hacen en la Universidad.
- La empresa principal en la que se trabaja se distribuye de acuerdo con las siguientes proporciones (se indican sólo las de mayor proporción): empresa operadora de telecomunicaciones 26,6 %; empresa suministradora de equipos de telecomunicación 18,5 %; empresa consultora 15,5 %.
- La función desarrollada por la empresa se distribuye así: proyectos, diseños y estudios 38 %; investigación y desarrollo 15 %; mercadotecnia 15 %; gestión y administración 10 %; producción: 8,4 %.
- La función desarrollada por el trabajador se distribuye como sigue: técnica 49 %; gestión y administración 33 %; tareas comerciales 12,3 %.
- Los motivos más frecuentes de elección de la carrera de Ingeniería de Telecomunicación son: atracción por la tecnología en el 50 % de los casos, oportunidades laborales en el 25 %, vocación en el 22 %.
- El aspecto mejor valorado de los estudios universitarios realizados es los conocimientos teóricos, con una nota media de 7 sobre 10. Sin embargo, la adecuación de dichos conocimientos a las exigencias profesionales y los aspectos prácticos sólo obtienen un 5; y la adecuación de los conocimientos de gestión un 3.

De estos datos se extraen las siguientes conclusiones:

- La actividad del ingeniero de telecomunicación en España se encuentra muy diversificada, lo cual sugiere la necesidad de una formación de carácter generalista.
- La tasa de desempleo es baja, debido a que tradicionalmente la demanda de ingenieros de telecomunicación ha sido superior a la oferta. No obstante, esta situación puede cambiar debido al alto número de escuelas que se han creado en España.
- Se valoran positivamente los conocimientos teóricos de la carrera, pero se echan en falta una mayor adecuación a las necesidades del mercado de trabajo y una mayor formación en aspectos de gestión. No obstante, la ocupación mayoritaria del trabajador es de tipo técnico.

1.4.2. La actividad profesional del ingeniero técnico de telecomunicación

El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación publicó en 2007 el informe EPITT (Ejercicio Profesional de los Ingenieros Técnicos de Telecomunicación). Los datos se obtuvieron a través de una encuesta realizada por medios electrónicos.

Del informe pueden destacarse los siguientes puntos:

- El 89,2 % de los ingenieros técnicos de telecomunicación son hombres, y el 11,8 % mujeres. No obstante, la incorporación de la mujer a la profesión es cada vez más frecuente en las últimas promociones salidas de las escuelas.
- La edad media de las personas que han respondido a la encuesta es 37 años.
- La mayor parte residen en la Comunidad de Madrid, con un porcentaje del 34,5 %. A continuación se sitúan Cataluña con un 16,4 % y Valencia con un 11 %.
- El 92,4 % de los ingenieros técnicos consultados está trabajando, el 5 % se encuentra desempleado y el 2,5 % inactivo.
- Respecto a los que trabajan, el 68 % lo hace exclusivamente por cuenta ajena y el 16 % exclusivamente por cuenta propia (autónomos con o sin asalariados). El 15 % compatibiliza trabajos por cuenta ajena y por cuenta propia.

- La actividad que más frecuentemente desarrollan los ingenieros técnicos que trabajan por cuenta ajena es la realización de proyectos (43 %), seguida por funciones relacionadas con la producción (23 %) y por la consultoría (12 %).
- La mayoría de los ingenieros consultados se encuentra en los niveles operativo (57 %) y táctico (30 %) de las empresas. El 13 % ocupa puestos en el nivel estratégico.
- En cuanto a los sectores económicos en los que tienen mayor presencia, destaca en primer lugar Transporte y Comunicaciones (25 %), seguido a distancia por Construcción (10 %), Educación (10 %) y Metalurgia (8 %).
- Las principales actividades de las organizaciones en que trabajan los ingenieros técnicos de telecomunicación son: servicios de telecomunicación (32 %), servicios profesionales (14 %) y servicios informáticos (7 %).
- En cuanto al tipo de tareas realizadas por el trabajador, priman las de tipo técnico (52 %), seguidas por las tareas de gestión, administración o dirección (32 %) y por las tareas comerciales (13 %). Las tareas técnicas tienen un mayor peso en los más jóvenes.
- El 19 % de los empleados por cuenta ajena trabaja en la Administración Pública.
- Sobre sus estudios, los trabajadores valoran sobre todo los aspectos teóricos, que califican con 7,2 puntos sobre 10. Lo peor valorado, con 3,2, es la adecuación entre los conocimientos adquiridos para gestionar o dirigir empresas y las exigencias profesionales.
- El grado de satisfacción que produce el ejercicio de la profesión es muy alto en lo referido a las relaciones humanas en el trabajo y al propio contenido de éste, pero se reduce al hablar de la remuneración percibida y de las posibilidades de promoción.
- La imagen que el ingeniero técnico de telecomunicación percibe de la valoración de su colectivo por la sociedad, de su influencia y de su prestigio profesional, no es muy positiva. Un 58 % de los consultados está poco o nada satisfecho con la influencia que la profesión ejerce sobre la sociedad

De lo anterior pueden obtenerse las conclusiones siguientes:

- Existe una mayor proporción de trabajadores por cuenta propia entre los ingenieros técnicos que entre los ingenieros de telecomunicación.

- La tasa de desempleo es baja, y el grado de satisfacción general es alto, aunque se perciben negativamente la remuneración y las posibilidades de promoción.
- Igual que en el caso de los ingenieros, los ingenieros técnicos valoran positivamente los conocimientos teóricos de la carrera, pero echan en falta una mayor adecuación a las necesidades del mercado de trabajo y una mayor formación en aspectos de gestión. No obstante, la ocupación mayoritaria del trabajador es de tipo técnico.

1.4.3. La actividad profesional en relación con las asignaturas *Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles*

De acuerdo con la descripción de la asignatura *Radiocomunicaciones* en el Plan de Estudios [19], el contenido de la misma abarca fundamentos de la comunicación por radio, propagación y descripción de sistemas. En esta última parte no se incluyen sistemas de comunicaciones móviles, de los que se ocupa la asignatura *Comunicaciones Móviles*. En cuanto a ésta última, su contenido se centra en la interfaz radio, y cubre fundamentos, descripción de sistemas existentes y planificación de redes.

Las actividades profesionales relacionadas con estos temas corresponden principalmente a las desarrolladas por operadores de redes y por fabricantes de equipos. Otras áreas profesionales relacionadas corresponden a las empresas de consultoría que trabajan en el ámbito de la planificación y optimización radio; administración; y ejercicio libre de la profesión. Según se vio en §1.4.1, las tres áreas en las que trabaja un mayor número de ingenieros de telecomunicación son operadores, suministradores y consultoras. Si bien los datos indicados corresponden a la profesión en general, es de esperar una tendencia similar en el ámbito de las radiocomunicaciones y de las comunicaciones móviles. Igualmente, suponiendo que la distribución de funciones desarrolladas por los trabajadores es aproximadamente aplicable a los casos particulares de las radiocomunicaciones y de las comunicaciones móviles, la mayor proporción corresponde a funciones técnicas, y en segundo lugar a gestión y administración. En cuanto a los ingenieros técnicos, de acuerdo con §1.4.2 se observan tendencias similares, ya que sus actividades más frecuentes son proyectos, producción y consultoría, y predominan las actividades técnicas seguidas de gestión y administración.

En [24] se realiza un estudio del mercado actual y futuro de las comunicaciones móviles e inalámbricas centrado en España. Dicho estudio cubre también algunos aspectos relacionados con las radiocomunicaciones en general. De él pueden destacarse las siguientes observaciones:

- El negocio móvil en España ha comenzado (2005) a entrar en una fase de madurez, en la que el crecimiento ya no puede basarse en el incremento de usuarios, y en la que se configura un entorno competitivo más agresivo entre las diferentes compañías.
- Entre los avances tecnológicos con mayor repercusión en el negocio de las comunicaciones móviles e inalámbricas, destaca el incremento del ancho de banda disponible en todo tipo de accesos: celulares (UMTS con HSDPA y HSUPA, IEEE 802.20), inalámbricos (Wi-Fi, WiMAX) y fijos (DSL). Igualmente importante es la migración de redes de conmutación de circuitos a redes de paquetes basadas en el protocolo IP, así como el incremento de la capacidad y prestaciones de los terminales de usuario.
- Se estima un crecimiento medio anual de los ingresos de los operadores de telefonía móvil del 4–5 %. Estas estimaciones reflejan una muy clara desaceleración con respecto al crecimiento medio anual del 22 % registrado en los 5 años anteriores. Mientras en el periodo 2000–2004 se produjo un crecimiento medio en usuarios del 21 % hasta alcanzar un 90 % de penetración, para los próximos años el crecimiento medio anual se cifra en un 5 % en usuarios.
- La pugna por las comunicaciones de voz en el interior de edificios, que representa un 70 % de las comunicaciones móviles, será un elemento clave de la dinámica competitiva. Los operadores móviles deberán responder a las estrategias de los operadores de telefonía fija que utilicen la capacidad de cursar voz sobre las conexiones inalámbricas (Wi-Fi).
- Con el fin de responder a una previsible demanda creciente de velocidades de transmisión por parte de los usuarios, sobre todo con el desarrollo de las tecnologías de evolución de la Tercera Generación, los operadores deberán afrontar inversiones para incrementar el ancho de banda de las líneas que conectan las estaciones base con el resto de la red.
- Los productos convergentes fijo-móvil crecerán, pero no se considera que vayan a convertirse en los productos de comunicación dominantes del mercado en los próximos años. El mercado de las telecomunicaciones presentará un importante sector móvil, orientado a las comunicaciones personales; un sector fijo, orientado a la banda ancha; y un sector de soluciones convergentes, con un porcentaje del mercado no muy alto.
- No es previsible que en el corto o medio plazo aparezcan “operadores Wi-MAX” que utilicen esta tecnología para generar una auténtica red alternativa a las actuales redes fijas y celulares.

De lo anterior pueden extraerse las siguientes conclusiones en cuanto a la formación más adecuada en el área de las radiocomunicaciones y comunicaciones móviles:

- La preponderancia de profesionales que trabajan en operadores y suministradores, y que desarrollan funciones en su mayoría técnicas, acentúa la necesidad de formación en planificación de redes y en la descripción de los sistemas actuales.
- Para una formación adecuada es fundamental la realización de prácticas de laboratorio relacionadas con los conceptos aprendidos en las clases de teoría. En la medida de lo posible, dichas prácticas deben realizarse por medio de equipos o herramientas software similares a los utilizados habitualmente en el entorno profesional.
- La imposibilidad de tratar con detalle todos los sistemas existentes, así como la continua incorporación de nuevas tecnologías en el ámbito de las radiocomunicaciones, requiere una sólida formación en conceptos fundamentales, con objeto de dotar al estudiante de un marco que le facilite el estudio de los nuevos sistemas con los que se encontrará a lo largo de su vida profesional. Esta necesidad debe ser cubierta principalmente por las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles*, si bien afecta también a otras.
- La saturación del mercado puede hacer aconsejable una formación en aspectos de mercadotecnia y gestión. No obstante, la cobertura que de estos temas puede hacerse en las asignaturas *Radiocomunicaciones* y *Comunicaciones Móviles* está fuertemente limitada por las descripciones de las mismas que aparecen en el Plan de Estudios, las cuales se centran en aspectos técnicos. Una solución de compromiso para poder hacer un seguimiento de los aspectos sociales y de mercado puede ser a través de comentarios breves en clase sobre noticias de actualidad recopiladas por el profesor.

1.5. Contexto relacionado con el profesor

Este contexto se corresponde con el conjunto de factores relacionados con el profesor que afectan a la impartición de la docencia. Se distinguen dos niveles: la situación general del profesorado universitario en España y las circunstancias específicas en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid.

1.5.1. Situación del profesorado universitario en España

La actividad del profesor universitario se corresponde con las tareas de docencia e investigación [4, título IX].

La actividad docente del profesor se basa en sus conocimientos y experiencia. En la adquisición de ambos es fundamental, por un lado, la labor investigadora; y, por otro, el contacto del profesor con el entorno de la profesión. Este contacto se logra principalmente a través de contratos de investigación y desarrollo con empresas, o, en algunos casos, a través de la participación directa del profesor como trabajador en entidades externas a la Universidad. En este sentido, cuanto mayor sea la relación que el profesor tenga o haya tenido con la profesión, mejor podrá transmitir los conocimientos necesarios para el aprendizaje de una asignatura, especialmente en lo relacionado con sus aspectos prácticos y con el entorno real de aplicación.

La experiencia del profesor debe complementarse con cursos de formación en técnicas docentes, que le permitan adecuar el procedimiento de enseñanza a cada materia o situación concreta. En este sentido, la carga docente debería dejar tiempo al profesor para realizar actividades orientadas a este tipo de formación.

La investigación, además de su labor como base para la mejora de la docencia, es importante por el avance que supone para la sociedad. Por otro lado, desde el punto de vista de la carrera docente del profesor universitario, la investigación es imprescindible para avanzar en la misma, ya que los principales méritos que se tienen en cuenta están relacionados con la investigación.

1.5.2. El profesorado en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid

Como se ha señalado en §1.2.5, en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones se integran 62 profesores, que imparten docencia en el área de conocimiento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. El Departamento colabora con las empresas más importantes del sector, siendo esta actividad uno de los aspectos más relevantes de la investigación en el mismo. El volumen de la actividad investigadora del Departamento es muy elevado, como reflejan los datos indicados en §1.2.5. Esta actividad investigadora y la relación con el entorno empresarial tienen una importante influencia sobre la docencia, contribuyendo a incrementar su calidad.

El Departamento lleva a cabo un procedimiento de evaluación de la docencia impartida por sus profesores. Para ello se utiliza como base una encuesta realizada a los alumnos de cada grupo de la asignatura. En asignaturas de grado, este procedimiento ha sido modificado recientemente, como consecuencia de la adhesión de

la Universidad Politécnica de Madrid al programa Docencia de la ANECA [25]. La Escuela se encarga de procesar los resultados, los cuales se dan a conocer a los profesores y al Departamento. En el Anexo §D se muestra el modelo de encuesta utilizado en asignaturas de grado.

La Universidad Politécnica de Madrid cuenta con un Instituto de Ciencias de la Educación, que, entre otras actividades, ofrece cursos de formación docente para el profesorado. Los cursos se estructuran en:

- Formación inicial, constituida por un curso de varios módulos con una duración total de 18 créditos ECTS, denominado “Formación inicial del profesorado en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior”.
- Formación continua, consistente en diversos cursos de perfeccionamiento en habilidades docentes, incluyendo estrategias metodológicas, formación para el desarrollo personal y tecnologías aplicadas a la docencia universitaria.

El Instituto también lleva a cabo estudios para evaluar diversos aspectos relacionados con el profesorado de la Universidad, como sus necesidades formativas y nivel de motivación, y organiza conferencias sobre otros aspectos de interés, como por ejemplo los relacionados con el programa Docencia o los procesos de acreditación para las diferentes figuras de profesorado.

1.6. Contexto relacionado con los estudiantes

Se apuntan a continuación algunas consideraciones generales sobre el contexto de los estudiantes en la Universidad española, para pasar después a los aspectos específicos de las asignaturas consideradas.

1.6.1. Aspectos generales

Uno de los aspectos que condicionan la forma de impartición de una asignatura es el número de alumnos. La existencia de un número elevado de alumnos por grupo dificulta la interacción en el aula y limita la aplicación de algunas técnicas de enseñanza, por ejemplo las basadas en pequeños grupos de trabajo, por la gran cantidad de grupos que sería necesario hacer. (Las técnicas de enseñanza se tratan más adelante en §2.2.2). El efecto de las limitaciones impuestas por el número de alumnos es aún mayor en asignaturas que contienen prácticas de laboratorio, ya que en este caso se añaden a la limitación en el número de equipos. Por estos motivos, a la hora de planificar una asignatura es conveniente tener una estimación del número de alumnos por grupo.

Otra cuestión relacionada con los alumnos es el nivel de conocimientos con el que comienzan a cursar la asignatura. En asignaturas de primeros cursos este nivel depende de lo aprendido en la enseñanza secundaria, y tiene por tanto una gran dispersión. En cursos superiores, en cambio, el nivel es más uniforme y conocido, ya que casi todos los alumnos han seguido el camino marcado por el Plan de Estudios. En este sentido, debe distinguirse entre asignaturas que, por restricciones de matrícula, deben haber sido aprobadas previamente por los alumnos y aquéllas que pueden haber sido aprobadas sólo por algunos alumnos.

Con el grado de motivación de los alumnos ocurre algo parecido a lo señalado anteriormente: tiene una considerable dispersión en asignaturas de primeros cursos, que algunos alumnos perciben como poco relacionadas con la carrera, mientras que en las de últimos cursos la motivación es más uniforme. Debe tenerse en cuenta también que la motivación tiende a ser mayor en asignaturas de especialización o de libre elección, puesto que el hecho de cursarlas ya denota un cierto interés por la materia.

En ocasiones se critica la actitud de los alumnos, en el sentido de que están excesivamente orientados a “aprobar la asignatura”, en vez de a “aprender”. Sin embargo, en la opinión del candidato, es responsabilidad del profesor hacer que ambos objetivos sean coincidentes. En la organización de la asignatura deben establecerse claramente los objetivos de la misma, de modo que el alumno que los supere (apruebe la asignatura) haya aprendido lo necesario. También la metodología utilizada en la docencia deberá orientarse hacia un aprendizaje adecuado de todos aquellos aspectos que se consideren importantes. Esto supone utilizar diferentes técnicas además de la clase magistral (tales como demostración directa o trabajos en grupo; véase §2.2.2 más adelante).

1.6.2. Los estudiantes de *Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles*

Las asignaturas *Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles* pertenecen al itinerario en Sistemas de Telecomunicación, y están ubicadas en el primer cuatrimestre del cuarto curso. Al pertenecer a un itinerario, es de esperar que los alumnos que cursen estas asignaturas tengan una cierta motivación como mínimo. Además, como es habitual en los últimos cursos, estas asignaturas tratan enteramente aspectos propios de la carrera (a diferencia de las de primeros cursos, más básicas), y permiten relacionar diferentes conceptos aprendidos en otras asignaturas (principalmente de *Radiación y Propagación*, *Antenas y Transmisión Digital/Comunicaciones Digitales*, aunque también de asignaturas más básicas como *Señales y Sistemas* y *Señales Aleatorias*). Estos dos aspectos inciden asimismo de forma positiva en la motivación.

Capítulo 2

Conceptos generales sobre objetivos, metodología y evaluación en la enseñanza

En este capítulo se presentan algunos conceptos generales relativos a los objetivos educativos (§2.1), la metodología docente (§2.2) y la evaluación (§2.3), que resultan útiles para llevar a cabo la planificación de una asignatura.

2.1. Los objetivos educativos

2.1.1. Fines y objetivos educativos

Es importante distinguir entre fines y objetivos de la asignatura. Los *objetivos* son la especificación de los resultados pretendidos del aprendizaje del alumno. Los *fines*, en cambio, son pautas o criterios generales que clarifican y orientan la actividad educativa, y se caracterizan por su amplitud y poca concreción [26]. Debido a estas características, los fines deben traducirse en logros más inmediatos, cercanos a situaciones concretas; dichos logros se especifican a través de los objetivos.

Las características que debe tener un objetivo educativo pueden resumirse en [26]: claro y preciso; dirigido al alumno; realista y alcanzable; temporalizado; comunicado al alumno.

2.1.2. Clasificación de los objetivos educativos

Según su amplitud Por su amplitud, los objetivos pueden clasificarse en *generales* y *específicos* [26]. Los generales expresan el aprendizaje final que se pretende obtener, mientras que los específicos expresan los aprendizajes o cambios educativos intermedios para lograr dicho aprendizaje final.

Según su formulación Los objetivos *genéricos* se formulan de forma amplia, y describen procesos, habilidades o actitudes relativos a aspectos internos del sujeto. Los objetivos *operativos*, por el contrario, se expresan en términos de conducta observable y medible. Describen conductas externas susceptibles de ser observadas y evaluadas.

Los objetivos genéricos suelen ser, desde el punto de vista de su amplitud, generales, mientras que los operativos se corresponden con objetivos específicos. Los objetivos genéricos señalan un nivel de aprendizaje capaz de tener diferentes interpretaciones, mientras que los operativos determinan estas interpretaciones.

Taxonomía de Bloom Otra clasificación de los objetivos, muy empleada por su utilidad para la especificación de los mismos, es la debida a Benjamin Bloom [26]. Según esta taxonomía, los objetivos se clasifican, en función del campo del aprendizaje al que se aplican, en dos grandes dominios: cognitivo y afectivo¹, los cuales se subdividen en niveles.

1. Dominio cognitivo: los objetivos pertenecientes a este dominio son los que se refieren a los aprendizajes relativos a los saberes o conocimientos. Se dividen en seis categorías, que implican sucesivamente destrezas cognitivas cada vez más complejas:
 - (a) Conocimiento: mera adquisición de conocimientos; memorización y evocación de conceptos.
 - (b) Comprensión: asimilación de la información recibida, sin tener que relacionarla con otra información.
 - (c) Aplicación: utilización de conceptos previamente conocidos en situaciones concretas.
 - (d) Análisis: descomposición de un todo en sus partes, viendo las interrelaciones.
 - (e) Síntesis: reunión por parte del sujeto de elementos o partes con el fin de formar un todo que es nuevo para él. Esta categoría es la que más fomenta la actividad creativa.

¹Existe un tercer dominio, el psicomotor, pero Bloom no lo incluyó en su clasificación, por considerarlo menos importante en la enseñanza.

- (f) Evaluación: formulación de juicios cualitativos y cuantitativos, de manera que el sujeto, en función de unos criterios dados, valora un hecho determinado.

Debe tenerse en cuenta que la división entre estas categorías no es totalmente nítida, especialmente en los tres niveles superiores.

2. Dominio afectivo: los objetivos pertenecientes a este dominio se refieren a actitudes, sentimientos, intereses y motivaciones. Se dividen en cinco categorías.

- (a) Recepción (atención): sensibilizar al alumno de la existencia de ciertos estímulos o fenómenos.
- (b) Respuesta: participación activa del alumno, en su reacción ante algo.
- (c) Valorización: interiorización por parte del alumno de un conjunto de valores.
- (d) Organización: integración de diferentes valores hasta formar un sistema de valores con coherencia interna, mediante comparación, relación y síntesis de valores.
- (e) Caracterización: influencia del sistema de valores sobre la conducta del individuo, de modo que se produzca una conducta característica de ese sistema de valores.

Los objetivos afectivos son más difíciles de evaluar que los cognitivos al basarse en actitudes de las personas, que no son fáciles de determinar o de definir.

2.1.3. Tipos de objetivos utilizados en la programación de una asignatura

Para la programación de una asignatura se utilizan habitualmente objetivos generales, mientras que en la preparación de cada clase o unidad docente se emplean objetivos específicos.

Respecto a la clasificación de Bloom, en la programación se utilizan objetivos de los dos dominios, en función del tipo de aprendizaje que se quiera lograr. En asignaturas de carreras de ingeniería, en las que se pretende fundamentalmente que el alumno adquiera unos conocimientos técnicos, los objetivos correspondientes pertenecerán al dominio cognitivo. Sin embargo, en la medida en que también se quieran promover ciertas actitudes en los alumnos, serán asimismo aplicables objetivos del dominio afectivo.

2.2. Métodos, técnicas y medios de enseñanza

El fin de la enseñanza es el aprendizaje del alumno. Para conseguir ese fin se utiliza un *método* de enseñanza, que ayuda al profesor a organizar su función docente. Existen distintos métodos de enseñanza, que se emplearán en función de la materia, el tipo de alumnos a los que va destinada y el criterio del profesor. Estos métodos, para alcanzar su fin, necesitan utilizar una serie de *técnicas* de enseñanza. Estas técnicas son formas de orientación inmediata del aprendizaje, procedimientos didácticos que facilitan el desarrollo específico de los métodos de enseñanza [27]. Por último, los *medios* o recursos didácticos son los instrumentos (por ejemplo, la pizarra) que se utilizan para poner en práctica las técnicas.

2.2.1. Métodos de enseñanza

Clasificación Los métodos de enseñanza se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, según se indica a continuación.

1. En cuanto a la forma de razonamiento:

- Deductivo: se procede de lo general a lo particular.
- Inductivo: el asunto estudiado se presenta por medio de casos particulares, sugiriéndose que se descubra el principio general que los rige.
- Comparativo o analógico: los datos particulares que se presentan permiten establecer analogías que llevan a una conclusión por semejanza (se procede de lo particular a lo particular).

2. En cuanto a la coordinación de la materia:

- Lógico: los datos se presentan según un cierto orden predefinido, normalmente de causa y efecto.
- Psicológico: se sigue un orden no rígido, marcado por los intereses o experiencias del alumno.

El método lógico se aplica ampliamente en la enseñanza universitaria, mientras que el psicológico es más adecuado para la enseñanza primaria y, en menor medida, secundaria. No obstante, aun cuando se vaya a llevar a cabo la enseñanza usando principalmente el método lógico, puede ser útil recurrir al psicológico para presentar los temas, los cuales se desarrollan luego siguiendo el método lógico.

3. En cuanto a la concretización de la enseñanza:

- Simbólico o verbalístico: todos los trabajos de la clase son ejecutados a través de la palabra.
- Intuitivo: la clase se lleva a cabo con constante auxilio de objetivaciones o concretizaciones, teniendo a la vista las cosas tratadas o sus sustitutos inmediatos.

El método simbólico tiene gran importancia y aplicabilidad. Sin embargo, no es recomendable usar sólo este método, porque puede causar cansancio y desinterés en los alumnos.

4. En cuanto a la sistematización de la materia:

- Sistematizado: el esquema de la clase es rígido, de acuerdo con un guión sin oportunidad de espontaneidad.
- Ocasional: aprovecha la motivación del momento y los acontecimientos importantes en la materia para orientar los temas de las clases.

En la enseñanza universitaria se utiliza sobre todo el método sistematizado; sólo algunas veces se emplea el ocasional, que es más propio de la enseñanza primaria.

5. En cuanto a las actividades de los alumnos:

- Pasivo: se acentúa la actividad del profesor. Los alumnos permanecen en actitud pasiva, recibiendo los conocimientos suministrados por aquél.
- Activo: el alumno participa en el desarrollo de la clase, actuando física o mentalmente, bajo la guía del profesor.

6. En cuanto a la globalización de los conocimientos:

- Globalizado: las clases se desarrollan abarcando un grupo de disciplinas ensambladas de acuerdo con el asunto que está siendo estudiado.
- Especializado: las asignaturas, o incluso parte de ellas, son tratadas de modo aislado.

En el caso especializado, siempre que sea posible, el profesor debe relacionar su disciplina con las demás y ejemplificar la dependencia existente con aquéllas.

7. En cuanto a la relación entre profesor y alumno:

- Individual: el profesor enseña a un solo alumno.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

- Recíproco: el profesor encamina a algunos alumnos para que enseñen a los demás, actuando como monitores.
- Colectivo: el profesor enseña a muchos alumnos.

El método individual corresponde a los casos en los que debe aplicarse una educación de carácter excepcional, o a la recuperación de alumnos que se hayan atrasado en sus estudios. Por otro lado, aun cuando se utilice el método colectivo debe tenerse presente al alumno como ser individual, atendiendo a sus diferencias.

8. En cuanto al trabajo del alumno:

- Individual: el trabajo es adecuado al alumno por medio de tareas diferenciadas, que el alumno realiza solo.
- Colectivo: se reparte el trabajo entre un grupo de alumnos, cada uno de los cuales contribuye con una parcela de responsabilidad. El trabajo total resulta de la reunión y colaboración de los alumnos.

9. En cuanto a la aceptación de lo enseñado:

- Dogmático o receptivo: se impone al alumno observar sin discusión lo que el profesor enseña, en la suposición de que eso es la verdad.
- Heurístico o de descubrimiento: el profesor incita al alumno a comprender antes que fijar, con justificaciones lógicas que pueden ser presentadas por el profesor y analizadas por el alumno, el cual puede discordar o requerir los fundamentos para aceptar el asunto como verdadero.

Métodos en la enseñanza universitaria En el caso de enseñanzas universitarias, la materia se coordina habitualmente siguiendo un método lógico y se presenta de forma sistematizada.

La relación entre profesor y alumno es principalmente colectiva, si bien pueden aprovecharse las tutorías u otras herramientas para atender las diferencias individuales de los alumnos.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que en cada caso concreto el tipo de asignatura condiciona en parte los métodos de enseñanza aplicables.

2.2.2. Técnicas de enseñanza

Clasificación Las técnicas de enseñanza se agrupan en las tres categorías siguientes.

1. Individuales: son las destinadas al alumno como individuo. Las más utilizadas son:

- Estudio dirigido.
- Tutorías.

Las tutorías pueden llevarse a cabo, no obstante, en pequeños grupos, por lo que también pueden considerarse pertenecientes a la categoría siguiente.

2. De grupo: los alumnos se organizan en pequeños grupos para llevar a cabo la acción docente. Existen, entre otras, las siguientes:

- Simposio
- Mesa redonda
- Entrevista o consulta pública
- Entrevista colectiva
- Debate dirigido o discusión guiada
- Técnica de proyectos
- Phillips 66
- Diálogos simultáneos
- Foro
- Seminario
- Técnica del riesgo
- Torbellino de ideas (*brainstorming*)
- Proyectos de visión futura
- Estudio de casos.

3. De gran grupo: dirigidas a la clase en conjunto. Las más importantes son:

- Técnica expositiva
- Pregunta.

A continuación se describen, de las técnicas enumeradas, aquellas que se consideran más relevantes para este Proyecto Docente.

Estudio dirigido El alumno trabaja de forma individual sobre un tema, de acuerdo con unas pautas iniciales establecidas por el profesor, y con el seguimiento y orientación de éste.

La ventaja principal del estudio dirigido es que el alumno aprende por sí mismo, con lo cual es un aprendizaje más duradero. Además, el estudio dirigido permite que cada alumno profundice más o menos en función de sus capacidades. Como desventajas, con esta técnica es difícil controlar lo que aprende cada alumno, y exige un gran esfuerzo del profesor.

Tutorías Mediante esta técnica se consigue una relación entre el profesor y el alumno individualizada y directa. Pueden distinguirse varios usos:

- Resolución de dudas de la asignatura.
- Repaso de conceptos o técnicas de otras asignaturas que sirven como base para los conocimientos impartidos en el aula, y que se suponen conocidos por la mayoría de los alumnos.
- Orientación en aspectos más generales relacionados con la carrera o profesión.
- Supervisión y exposición de trabajos voluntarios realizados por los alumnos.

De acuerdo con esto, la tutoría puede plantearse, más que como una técnica docente por sí misma, como un complemento a otras técnicas, que permite detectar y resolver posibles defectos o desviaciones en la aplicación de las mismas.

Técnica de proyectos El profesor fija el tema y los objetivos del proyecto; elabora las fases del mismo; forma los grupos y asigna tareas. El alumno desarrolla las tareas, de forma individual y en grupo. El grupo elabora un informe final, que se expone al resto de alumnos, con un coloquio para preguntar al grupo las dudas que hayan surgido.

Puede considerarse que esta técnica se sitúa entre las individuales y las de grupo, ya que el alumno realiza un trabajo individual y un trabajo en grupo.

Esta técnica motiva al alumno, al estar en contacto con casos reales. Fomenta la creatividad y la capacidad de trabajo en grupo, y permite un aprendizaje más sólido, derivado del trabajo propio. Además, permite relacionar la asignatura con otras materias. El principal inconveniente es que resulta difícil lograr un buen control de su realización, en particular del grado en que trabaja cada alumno dentro del grupo. Por otra parte, si hay muchos alumnos en la clase esta técnica es difícil de aplicar [28].

Phillips 66 En esta técnica, desarrollada por Donald Phillips, la clase se divide en grupos de 4–6 alumnos. Cada grupo discute un tema durante 6 minutos para llegar a una conclusión. Finalmente se llega a una conclusión intergrupar. Cada grupo debe tener un coordinador, que controla la participación de los miembros, y un secretario, que anota las conclusiones y actúa de portavoz.

Esta técnica favorece la participación y la capacidad de síntesis. Es útil para evaluación de conocimientos: indagar el nivel general de información que poseen los alumnos sobre un tema, o ver hasta qué punto se ha entendido una explicación.

Diálogo simultáneo En cualquier momento de la clase se invita a los alumnos a que durante 2–3 minutos y de dos en dos den solución a una cuestión o problema sencillo, de la cual informan luego al resto de la clase.

Además de para evaluar el conocimiento de los alumnos, esta técnica sirve para hacer un descanso en la clase, permitir que los alumnos se relajen (probablemente acaban hablando de otros asuntos) y recuperar su atención.

Seminario Un grupo de 5–12 personas investiga durante varios días un tema recurriendo a fuentes originales. El tema debe ser tal que por sus múltiples raíces o derivaciones exija un gran esfuerzo de una sola persona; al compartir el trabajo, ese esfuerzo se ve menguado, y los resultados se enriquecen. Elegido el tema, los participantes buscan información, y en una primera sesión de reunión intercambian ideas, a partir de las cuales se elabora una estructura que se desarrolla a modo de documento. Un miembro del grupo actúa como coordinador y otro como secretario.

Torbellino de ideas En esta técnica se propone un tema a un grupo y se pide que sus miembros intervengan libremente y sin críticas aportando sus ideas, que expresarán preferiblemente por medio de una sola palabra. Las ideas se van apuntando en una pizarra. El ambiente de confianza y permisivo derivado de la ausencia de valoración y crítica permite obtener gran cantidad de ideas con las que el grupo puede trabajar. La base de esta técnica es que muchas de estas ideas surgen bajo el estímulo de otras, produciéndose una realimentación entre los miembros del grupo.

Estudio de casos A un grupo de 15–20 personas se le presenta un caso real o supuesto para que dé una solución o tome una decisión. Para ello tiene que buscar durante unas 2 horas las causas del hecho y la delimitación del problema. El profesor no debe sugerir la solución (salvo que presente, como parte del supuesto, varias posibles soluciones entre las que se debe elegir). El tema debe ser abierto

para permitir distintas interpretaciones, y debe estar relacionado con lo visto en la asignatura.

Al enfrentarse a un caso concreto para el que se debe llegar a una decisión razonada, se fomenta el espíritu crítico del alumno, así como su capacidad de razonamiento y de síntesis. Se favorece además la adquisición de cierta experiencia práctica, al enfrentarse el alumno a situaciones parecidas a las de la vida profesional. Las principales limitaciones de esta técnica son que exige un cuidadoso trabajo de preparación en la selección o elaboración del caso, y que no siempre es una técnica apropiada, en función del tipo de asignatura [29].

Técnica expositiva La exposición del docente, es decir, la presentación y análisis de los contenidos que son objeto de aprendizaje, es uno de los pilares del sistema metodológico del profesor. Esta técnica, también conocida como “clase magistral”, es el método por excelencia en la docencia universitaria. No obstante, la mayoría de las corrientes pedagógicas defienden la actividad del alumno como medio principal para el aprendizaje.

Entre las ventajas de esta técnica destacan que presenta la información de forma estructurada, facilitando la comprensión; posibilita la presentación del material en poco tiempo, y a un gran número de alumnos a la vez; y permite motivar a los alumnos, fomentando el pensamiento crítico. Las desventajas son que contribuye a la pasividad del alumno; supone una uniformidad en el ritmo de aprendizaje; y está limitada por el grado de atención del alumno [27].

Con objeto de facilitar el aprendizaje del alumno, el profesor debe tener una serie de habilidades al llevar a cabo la exposición, que se describen seguidamente [27]:

- Introducir el tema: el profesor debe dedicar los primeros minutos de la clase a sensibilizar a los alumnos sobre el contenido que se va a transmitir, tratando de lograr un nivel de atención suficiente. Para ello, se debe situar la lección indicando sus objetivos o ubicando el tema en el contexto de la asignatura. Ello ayuda al alumno a percibir la estructura organizativa de la asignatura y a comprender las relaciones entre los distintos temas.
- Secuenciar los contenidos: la presentación debe tener un orden que favorezca la comprensión de los conceptos e ideas.
- Fijar lo esencial: deben hacerse recapitulaciones y resúmenes para compendiar lo importante y centrar la atención sobre las ideas principales.
- Utilizar variación de estímulos: en una exposición el grado de atención del alumno varía por diversas causas (cansancio, monotonía, desmotivación etc.). El profesor debe adquirir la habilidad de mantener, en la medida de lo

posible, el nivel de atención. Para ello puede utilizar: llamadas de atención; distintos tipos de comunicación (profesor-grupo, profesor-alumno, alumno-profesor); pausas y silencios; cambio de actividad.

- Emplear imágenes y ejemplos: ello permite una mejor comprensión de las ideas, al relacionarlas con la realidad. Los ejemplos deben utilizarse sólo si está clara la conexión ejemplo-idea (en caso contrario es preferible quedarse en la abstracción del concepto, para no confundir al alumno).
- Utilizar adecuadamente los medios didácticos: pizarra, proyector, ordenador u otros.
- Fomentar la participación y la reflexión: la participación del alumno en clase es una ayuda para el aprendizaje, así como un indicador de interés y motivación. El profesor debe potenciar la participación utilizando con frecuencia la técnica de la pregunta y aplicando una metodología activa que complemente la exposición en clase.
- Controlar la comprensión: el profesor necesita saber si la información que está transmitiendo es recibida y asimilada por los alumnos. Para ello puede utilizar preguntas o ejercicios.
- Concluir el tema: el profesor debe dejar unos minutos finales para realizar un pequeño resumen de todo el tema expuesto, con objeto de facilitar a los alumnos la integración de los puntos más relevantes. El resumen puede complementarse con una breve introducción al tema siguiente, o con preguntas para estimular la reflexión y ayudar al posterior aprendizaje del tema.

Junto con las habilidades básicas, el profesor tiene que cuidar en la presentación una serie de comportamientos, como son los siguientes:

- Espontaneidad y naturalidad en la expresión.
- Dicción clara y volumen de voz adecuado.
- Tono de voz y gestos variados.

En la técnica expositiva debe cuidarse especialmente el ritmo, entendido como la cantidad de conceptos o ideas que el profesor comunica al alumno en un determinado tiempo. Para determinar el ritmo adecuado de una exposición deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos [27]:

- Características de los alumnos: el ritmo de la exposición debe adecuarse a la capacidad de los alumnos de comprender las ideas que transmite el profesor. Dicha capacidad depende del nivel de conocimientos que tengan los alumnos y de su motivación.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

- Importancia del tema: los temas fundamentales del programa deben llevar un ritmo más lento. El resto del temario puede impartirse más deprisa, compaginando la exposición en clase con otras técnicas.
- Dificultad del tema: de forma análoga a lo dicho en el punto anterior, los temas más difíciles requieren un ritmo más lento.
- Control del aprendizaje: el profesor debe controlar en qué medida está llegando el mensaje que transmite, y en función de esto debe adaptar el ritmo.
- Horario de clase: el nivel de atención de los alumnos depende fuertemente del cansancio por acumulación de actividades realizadas, y por tanto del horario en que se imparte la clase. El ritmo debe adaptarse en la medida de lo posible a esta circunstancia.
- Medios didácticos: la utilización de determinados medios didácticos también es un factor que influye en el ritmo de la exposición. Por ejemplo, un adecuado uso del proyector puede hacer la clase más atractiva por la variedad de medios empleados, pero debe evitarse llevar un ritmo muy rápido (lo cual es más fácil con este medio que por ejemplo con la pizarra).

Por último, la organización de los contenidos de la lección de forma lógica y comprensible es fundamental en la técnica expositiva. En este sentido, es recomendable que la lección se desarrolle en las siguientes fases [27].

1. Introducción: sirve para facilitar la adaptación del alumno a esta nueva actividad. Aquí se pueden incluir una motivación inicial y una presentación de elementos organizadores. Entre éstos últimos pueden utilizarse los siguientes (todos o algunos de ellos): contextualizar el contenido; presentar los objetivos de aprendizaje; presentar el esquema lógico de lo que se va a tratar; indicar metodología y actividades que se van a realizar.
2. Desarrollo: debe facilitar el seguimiento de la exposición por parte de los alumnos. La puesta en práctica de las habilidades docentes antes mencionadas contribuye al buen desarrollo: fijar lo esencial mediante recapitulaciones; utilizar variación de estímulos; emplear ejemplos; controlar la comprensión.
3. Conclusión: permite integrar el contenido desarrollado. Esto se realiza a través de resúmenes y repasos de ideas importantes.

Técnica de la pregunta La pregunta formulada por el profesor es una de las técnicas que mejor complementa y potencia la técnica expositiva. Permite, por un lado, comprobar el desarrollo del proceso de aprendizaje del alumno y la propia actuación docente; por otro, facilita el aprendizaje, potenciando la interacción con los alumnos y contribuyendo a su motivación [27].

Para utilizar adecuadamente la técnica de la pregunta, el profesor debe poner en práctica habilidades que faciliten la comunicación, como son las siguientes:

- Crear un ambiente adecuado en clase, en el que el profesor utilice la pregunta como una actividad más, favoreciendo la interacción en el aula.
- Alternar preguntas colectivas e individuales.
- Al hacer una pregunta individual, no individualizar antes de preguntar. Es mejor formular la pregunta a la clase entera para que todos la piensen, e individualizar pasados unos segundos. La pregunta dirigida directamente a un sujeto hace que éste se bloquee y el resto se desentienda. La pregunta directa sí puede ser recomendable, no obstante, con fines disciplinarios.
- Formular preguntas claras y precisas.
- Utilizar refuerzos positivos, para favorecer la participación.
- Dar tiempo para contestar, y si el alumno no responde redirigir la pregunta a otro. Si el profesor responde rápidamente la pregunta que ha formulado, los alumnos la perciben como un recurso del profesor para continuar la exposición. El profesor sólo debe responder si está convencido de la incapacidad de los alumnos para hacerlo. En este caso, puede formular otra pregunta sobre el contenido, y si continúan sin responder debe explicar de nuevo el concepto. Si los alumnos sistemáticamente no contestan, hay que averiguar si es por timidez o por falta de conocimientos.

Por otro lado, para las preguntas formuladas por los alumnos deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Comunicar a los alumnos cuándo pueden preguntar.
- Favorecer que los alumnos se sientan libres para preguntar, utilizando refuerzos positivos como por ejemplo agradecer la pregunta.
- Repetir la pregunta del alumno, si por el volumen de voz el resto de la clase puede no haberla oído, o si el profesor necesita comprobar que la ha interpretado correctamente.

- Dejar al alumno que finalice la pregunta, para no inhibir posibles preguntas posteriores.
- Cerciorarse de haber respondido bien al alumno, preguntando si la respuesta dada era lo que quería saber.
- Aplazar las respuestas ante una pregunta cuya respuesta el profesor no tenga clara, si no hay tiempo suficiente para tratarla adecuadamente, o si es sobre un tema posterior.

Demostración directa La demostración directa de los conceptos permite una enseñanza basada en un método intuitivo, lo cual facilita mucho el aprendizaje. La utilización de esta técnica puede no ser viable, en función de cuál sea la materia objeto del aprendizaje. Aún cuando sea posible en principio, la demostración directa puede requerir equipamiento especial, por ejemplo para realización de medidas, el cual puede no estar disponible. En ese caso, puede recurrirse a la simulación por ordenador como sustituto de la experiencia directa.

Siempre que sea posible, en las asignaturas que se presten a ello, debe dedicarse parte del tiempo a mostrar de forma directa, o en su defecto mediante simulación, los conceptos aprendidos de forma simbólica. Tener la visión directa, sin el auxilio de intermediarios, del objeto o concepto bajo estudio es una de las formas más eficaces de aprendizaje.

2.2.3. Medios de enseñanza

Los medios de enseñanza más comúnmente utilizados son los siguientes.

- Pizarra
- Documento escrito
- Fotografía
- Transparencias
- Sistema de presentación con ordenador
- Vídeo
- Demostración basada en ordenador.

A continuación se describen y se dan indicaciones de uso para aquéllos que tienen mayor interés en este Proyecto Docente, por su adecuación al objeto del mismo y por su amplia disponibilidad.

La pizarra Es un medio insustituible, muy utilizado en la docencia. Permite un apoyo gráfico, dinámico y adaptado a las variadas situaciones que se producen durante una clase. Sirve también para añadir interés a la exposición, ya que todos los elementos expresivos que utiliza el profesor en la pizarra son creados en el momento.

Para su uso correcto debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Estructuración y orden en la información presentada: para facilitar la lectura, conviene dividir la superficie en dos o más columnas, en función del tamaño de la pizarra y del contenido que se va a desarrollar. En lo posible, hay que evitar la denominada “pizarra del científico”, en la que los contenidos están desordenados, colocados en cualquier lugar y guiados por una flecha. La distribución de la información sobre la pizarra no debe ser espontánea, sino que debe ser planificada previamente.
- Legibilidad: la letra debe ser clara, para lo cual debe hacerse suficientemente grande, y apretando la tiza, si la pizarra es de tiza. Si se utilizan rotuladores, conviene emplear diferentes colores, para diferenciar partes o hacer énfasis. Es preferible evitar abreviaturas, salvo las que sean de uso habitual en la materia.
- Borrado: debe comenzarse a escribir sobre una superficie limpia, sin restos de la explicación anterior. Durante la exposición, el borrado se emplea para centrar la atención, sin distraer a los alumnos con material anterior. Sirve como pausa para los alumnos y para el profesor. Debe realizarse comprobando antes que los alumnos han terminado de copiar lo que hay escrito. Por último, es conveniente borrar la pizarra una vez terminada la clase, como cortesía.
- Posición: el profesor debe tener cuidado de no entorpecer la visión. No debe hablarse de cara a la pizarra, pues se dificulta la audición.

Sistemas de presentación con ordenador Son aplicaciones informáticas pensadas para diseñar y utilizar apoyos visuales en la exposición. Permiten organizar la información y transmitirla de forma atractiva y comprensible. Se utilizan en conjunción con un medio de proyección, que puede ser un proyector conectado al ordenador o un proyector de transparencias impresas.

La unidad expresiva con la que se trabaja es la “pantalla” (también llamada “transparencia” o “diapositiva”), que es la superficie sobre la que se dispone el contenido que se va a comunicar. Los contenidos de cada pantalla pueden aparecer de forma simultánea o secuencial.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

A diferencia de la pizarra, en la que el contenido se va escribiendo a lo largo de la presentación (aunque con una planificación previa), las pantallas en los sistemas de presentación se confeccionan generalmente durante la preparación de los contenidos.

Para la preparación de la presentación debe considerarse lo siguiente:

- Los textos deben ser lo más breves posible. La pantalla es una guía de la presentación, no debe sustituir al profesor. En general, todos los elementos de la pantalla deben poder ser captados por el alumno sin que éste pierda la atención sobre lo que está diciendo el profesor. Deben contener sólo la información necesaria para la función de apoyo que cumplen.
- Debe haber diferencia entre los elementos que integran la composición y el fondo. En una sala muy iluminada es aconsejable emplear fondos claros, mientras que si se va a oscurecer la sala es mejor usar fondos oscuros.
- La pantalla debe llevar título, y éste debe diferenciarse bien del resto de información.
- Las letras mayúsculas tienen unas funciones delimitadas en los textos escritos y se leen con mayor dificultad que las minúsculas, por lo que no se aconseja su uso generalizado.
- Deben utilizarse tipos de letra que se lean fácilmente. En general, para textos impresos se leen mejor los tipos de letra con remate (*serif*). Sin embargo, para presentaciones algunos autores prefieren las letras sin remate (*sans serif*).
- Conviene emplear tipos de letra diferentes para indicar distintos tipos de información en la pantalla (por ejemplo, usar un tipo de letra diferenciado para el título), pero no más de dos o tres. De forma similar, el uso de diferentes tamaños de letra permite jerarquizar la información.
- Los títulos pueden situarse con alineación a la izquierda, a la derecha o centrados. En el caso de los textos, debe utilizarse alineación a la izquierda, para facilitar su lectura. No conviene utilizar justificación del texto, pues ello se consigue modificando la separación entre palabras o dividiendo éstas con guiones, y cualquiera de las dos opciones dificulta la lectura.
- Conviene introducir variedad en los elementos que componen las diferentes pantallas: listas, dibujos, fotos, etc. En cuanto a las listas, deben utilizarse listas con viñetas cuando no haya relación de orden entre los diferentes puntos, y listas numeradas cuando sí la haya. Puede utilizarse también una

lista numerada para facilitar la referencia a los puntos que la integran, aun cuando no haya relación de orden.

- Cuando la información mostrada ya no sea necesaria, debe dejar de proyectarse, sustituyéndola por una pantalla en blanco o en negro (en el caso de proyección desde el ordenador, ello puede hacerse desde la aplicación informática o mediante el mando a distancia del proyector; si se utiliza un proyector de transparencias, puede situarse una hoja opaca sobre la transparencia). De esta forma se consigue no distraer la atención, y se facilita el volverla a captar cuando se proyecte de nuevo información.

Demostración basada en ordenador La disponibilidad de ordenador y proyector en el aula permite un uso más general que el correspondiente a los sistemas de presentación. En concreto, puede utilizarse el ordenador para mostrar cualquier tipo de información gráfica o sonora que permita ilustrar los contenidos de la asignatura. Ello se consigue mediante el uso de aplicaciones informáticas específicas. Pueden distinguirse al menos tres tipos de uso:

- Demostración de herramientas de cálculo o de simulación;
- Visualización de medidas obtenidas mediante equipos externos, conectados al ordenador;
- Cálculos directos realizados mediante entornos de programación interpretados (por ejemplo Matlab).

Estos medios posibilitan el empleo de técnicas didácticas basadas en demostración directa de los conceptos, con las ventajas que ello conlleva.

2.3. La evaluación en la enseñanza

La evaluación supone la emisión de un juicio de valor acerca de algo o de alguien. En la enseñanza, la evaluación puede referirse al alumno (su aprendizaje) o al profesor (su enseñanza).

2.3.1. Componentes de la evaluación

La evaluación tiene tres componentes:

- Información, que debe ser adecuada;
- Juicios, basados en la interpretación de la información anterior;

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

- Decisiones, que se fundamentan en los mencionados juicios.

La información es un conjunto de datos respecto a aquello que se va a evaluar. Esos datos deben ser:

- Válidos, es decir, deben estar en correspondencia con lo que se pretende evaluar, de modo que sean apropiados para los juicios de valor que se deben emitir y las decisiones que se van a tomar.
- Fiables, es decir, deben estar exentos de error, o el error debe ser el mínimo posible. Posibles fuentes de error son: el instrumento de obtención de datos, el ambiente de la recogida de datos, las condiciones del evaluado y las del evaluador.

Para mejorar la información, debe elegirse un instrumento de recogida de datos adecuado a lo que se va a evaluar, y se debe procurar que las técnicas y las condiciones de la prueba sean conocidas para el sujeto.

Los juicios consisten en comparar la información con una referencia. Esta referencia puede ser de dos tipos:

- De criterio: se comparan los datos con objetivos o niveles previamente señalados;
- De grupo: se comparan los datos individuales con los resultados obtenidos en un grupo.

La comparación, a su vez, puede ser de dos tipos:

- De dominio: se detecta si se da o no un comportamiento en el sujeto, si se ha logrado algo.
- De desviación: se establece en qué medida se ha logrado algo.

Las decisiones son la conclusión de la actividad evaluadora. A la hora de tomarlas, debe tenerse en cuenta su trascendencia, el número de afectados y la durabilidad de la decisión.

2.3.2. Funciones de la evaluación

La evaluación se aplica a distintas fases del proceso educativo universitario. Deben evaluarse los siguientes aspectos:

- Las entradas: situación de los alumnos al acceder a una carrera o a una asignatura;

- Las salidas: en qué medida los alumnos alcanzan una formación adecuada a las expectativas u objetivos de la carrera o de la asignatura;
- La programación: adecuación y calidad de las previsiones de la actividad formativa;
- La ejecución: acción en el aula y comunicación entre profesor y alumnos;
- La evaluación: la evaluación en sí misma debe ser también sometida a análisis y valoración.

Los aspectos que se han indicado afectan bien al profesor o bien a los alumnos. Lo que sigue se refiere principalmente a la evaluación de los alumnos.

2.3.3. Formas de evaluación

Pueden distinguirse tres formas de evaluación:

- Diagnosticadora
- Sumativa
- Formativa.

Evaluación diagnosticadora Es un estudio inicial para conocer el estado del alumno en relación con la materia objeto de aprendizaje. Contribuye a mejorar la planificación de la asignatura o de una unidad docente de la misma. Para ello es conveniente realizarla con suficiente antelación. Las pruebas pueden ser anónimas y los resultados no necesariamente comunicados a los alumnos. No obstante, si se quieren utilizar los datos para una orientación y ayuda individual a los alumnos, es necesario que las pruebas sean nominales o lleven una clave de identificación.

Evaluación sumativa Es la que se lleva a cabo al final del proceso programado. El profesor mide y juzga el aprendizaje de los alumnos y toma decisiones de calificación. El elemento básico en la evaluación final es el grado de consecución de los objetivos de la asignatura. La forma de evaluación más habitualmente utilizada es con referencia a un criterio (niveles de exigencia establecidos), aunque en algunos casos se utiliza evaluación con referencia al grupo (situación de cada individuo dentro de los resultados del grupo).

Evaluación formativa Se da a lo largo de todo el proceso educativo. Ofrece la posibilidad de comprobar los resultados parciales de los aprendizajes de los alumnos, de forma individual y considerados como grupo, y ajustar el desarrollo del proceso, tanto desde el punto de vista de la enseñanza como desde el del aprendizaje: por ejemplo, cambiar el ritmo, modificar los métodos o técnicas de enseñanza, o trabajar en la motivación de los alumnos. Su finalidad es la ayuda y orientación al alumno y al profesor. Este tipo de evaluación debe llevarse a cabo de forma continuada, en determinados momentos a lo largo de la enseñanza de la asignatura.

2.3.4. Medios de evaluación

Para poder evaluar a los alumnos, el profesor necesita ciertos medios o instrumentos en los que se les solicita que demuestren su grado de aprendizaje. Estos medios son principalmente las pruebas de evaluación, aunque también pueden utilizarse otros medios como la observación sistemática.

Toda prueba de evaluación está constituida por una serie de preguntas o cuestiones, que solicitan ciertas respuestas o realizaciones de los alumnos para comprobar el grado de consecución de determinados objetivos educativos. Las cuestiones pueden ser:

- **Objetivas o subjetivas:** las primeras tienen una interpretación uniforme, una lectura única, y por tanto una sola respuesta correcta. En las segundas se buscan las aportaciones personales; la corrección o incorrección de las respuestas no es fija, sino que está sujeta a opinión. Igualmente, la interpretación y valoración de las respuestas puede dar lugar a muchas lecturas.
- **Abiertas o cerradas:** las primeras solicitan al alumno una respuesta personal de cualquier tipo. En las cerradas el alumno debe limitarse a seleccionar una respuesta entre las distintas que el profesor le presente. Las cuestiones cerradas deben ser de carácter objetivo.

Las pruebas de evaluación pueden ser de cuatro tipos:

- **Escritas cerradas:** están constituidas por cuestiones cerradas de carácter objetivo;
- **Escritas abiertas:** están constituidas por cuestiones abiertas;
- **Orales:** el alumno para demostrar sus conocimientos utiliza la palabra hablada;
- **Prácticas:** pretenden comprobar si el alumno es capaz de aplicar los aprendizajes de un modo práctico.

En general, para medir el grado de aprendizaje en el dominio cognitivo (véase §2.1.2) se utilizan sobre todo pruebas escritas, y ocasionalmente pruebas orales y de carácter práctico. Para el dominio afectivo resultan más adecuadas las pruebas prácticas.

Pruebas escritas cerradas Estas pruebas permiten valorar el grado de consecución de objetivos cognitivos como capacidad de comprensión, memoria, asociación y conocimiento de conceptos. No son válidas, en cambio, para comprobar la capacidad de síntesis, originalidad o creatividad.

La principal ventaja de esas pruebas, además de su objetividad, es la posibilidad de incluir un gran número de cuestiones, lo cual permite aumentar la muestra del programa que se evalúa. El mayor inconveniente es su confección, que requiere partir de los objetivos abordados en clase y de los contenidos de la materia para decidir el número de cuestiones relacionadas con cada uno, teniendo en cuenta su importancia y el tiempo dedicado. Sólo de esa forma puede asegurarse que se mide lo que realmente se quiere medir, valorando más aquello que es más importante.

En estas pruebas pueden utilizarse varias clases de cuestiones [30]:

- De recuerdo: se basan en la memoria. Debe escribirse la respuesta a una pregunta. Pueden ser:
 - De respuesta simple: pregunta muy concreta con una respuesta igualmente concreta.
 - De completar el texto: párrafos o frases con un espacio en blanco que debe rellenarse.
- De reconocimiento: se dividen en tres:
 - De elección de respuestas: se busca la identificación entre varias opciones de la respuesta correcta, o de la mejor de todas las opciones válidas. La respuesta se marca señalando la opción.
 - De correspondencia: deben relacionarse elementos de dos o conjuntos.
 - De ordenación: deben conectarse una serie de elementos presentados, según un criterio determinado.

En la elaboración de este tipo de pruebas conviene tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Cada cuestión debe ajustarse al objetivo que se quiere evaluar.
- La redacción debe ser muy clara y precisa, de modo que todos los alumnos interpreten lo mismo. Para asegurarse de que es así, puede pedirse a otro profesor que interprete las preguntas.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

- Debe preverse la puntuación, e indicarse a los alumnos.
- Conviene usar una gama variada de clases de cuestiones.

Pruebas escritas abiertas Permiten comprobar el logro de objetivos cognitivos de alto nivel: análisis, síntesis, valoración o creatividad. Están constituidas por cuestiones que requieren la elaboración de algún tipo de respuestas por parte de los alumnos.

En las pruebas escritas abiertas el alumno tiene libertad para elaborar su respuesta. Para el profesor son relativamente fáciles de confeccionar. Sin embargo, su valoración puede ser difícil.

Pueden hacerse las siguientes recomendaciones para este tipo de pruebas:

- Redactar las cuestiones procurando evitar ambigüedad.
- Tener claros los criterios de evaluación, y comunicarlos a los alumnos.
- En la evaluación de la prueba debe tenerse cuidado de aplicar los criterios establecidos, especialmente si participan varios profesores.

En la calificación de pruebas escritas abiertas deben tenerse en cuenta los siguientes hechos relacionados con la subjetividad del profesor, los cuales se han comprobado experimentalmente [30]:

- Se tiende a calificar más alto al alumno que escribe con buena letra, más claro o sin errores gramaticales u ortográficos (aún cuando se le indique al profesor que no tenga en cuenta estos aspectos).
- Los profesores con buena letra califican peor a los alumnos con mala letra; los profesores con mala letra diferencian menos.
- La buena letra influye menos en la primera pregunta y más a partir de la segunda.
- Se tiende a calificar más bajo el segundo día que el primero.
- Se califica de forma más benigna cuando se tiene una expectativa alta sobre lo que puede rendir el alumno.

Algunas sugerencias para atenuar estos aspectos subjetivos son:

- Informar a los alumnos de éstas u otras conclusiones, para que puedan tomar decisiones al respecto, como mejorar la letra, la ortografía o el orden.
- Confeccionar antes de la prueba unas normas de calificación, que deberán ser aplicadas por todos los profesores.
- Comunicar, en la medida de lo posible, dichas normas a los alumnos.

Pruebas orales Su utilización resulta adecuada para comprobar la consecución de determinados objetivos del dominio cognitivo. Estas pruebas tienen grandes inconvenientes, derivados del elevado número de alumnos, la poca representatividad y las pocas garantías de objetividad y ecuanimidad en las calificaciones. No obstante, desde el punto de vista de la formación de los estudiantes, conviene incluir actividades en las que tengan que intervenir de forma oral, por ejemplo mediante exposiciones en que relaten los trabajos o prácticas realizadas.

Pruebas prácticas Son apropiadas para evaluar la consecución de determinados objetivos relacionados con la aplicación práctica de un aprendizaje teórico. En los planes de estudios estos objetivos se abordan por medio de asignaturas de laboratorio, o bien de prácticas de laboratorio incluidas como parte de las asignaturas.

En la evaluación de las prácticas deben tenerse en cuenta la programación del trabajo, el empleo adecuado de herramientas y la calidad del resultado. La forma de evaluación más adecuada es la observación sistemática mediante registros de información relativa al proceso y al producto final. En cuanto al proceso, el profesor debe seleccionar los indicadores apropiados que sirvan para comprobar el grado de consecución de los objetivos propuestos, y decidir la ponderación de dichos indicadores. Estos criterios deben ser comunicados a los alumnos. En cuanto al producto final, éste puede evaluarse a través de escalas de calificación que garanticen una mayor objetividad.

Observación sistemática Es un medio de evaluación en el que el profesor trata de percibir unos hechos o comportamientos de los alumnos, de forma planificada y metódica. La observación debe ser además objetiva, ratificada y registrada.

Este medio de evaluación es especialmente útil para comprobar la consecución de objetivos del dominio afectivo. Dos desventajas importantes son la dificultad de llevar a cabo una observación objetiva, y la dificultad de aplicación de este medio cuando el número de alumnos es elevado.

2.3.5. Evaluación de las pruebas de evaluación

Los dos requisitos de las pruebas de evaluación es que sean válidas y fiables, como se describe a continuación.

Una prueba de evaluación es válida cuando mide aquello que se pretende medir. Dado que la prueba se dirige a detectar el grado de consecución de unos ciertos objetivos, éstos son los elementos de referencia para comprobar la validez de una prueba. El análisis de validez se basa en el juicio lógico sobre la correspondencia entre lo que plantean las preguntas y sus objetivos de referencia. Esta tarea debe

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS SOBRE OBJETIVOS, MÉTODOS Y EVALUACIÓN

ser realizada por el profesor, si es posible en colaboración con otros profesores, para mejorar la objetividad.

Una prueba de evaluación es fiable cuando es consistente, es decir, cuando aplicada dos veces en las mismas condiciones da resultados muy similares. La fiabilidad de una prueba sólo se puede descubrir una vez aplicada y corregida la misma, empleando técnicas estadísticas. Para aumentar la fiabilidad de las pruebas puede recurrirse a:

- Aumentar el número de cuestiones para comprobar un mismo objetivo, si ello no alarga en exceso la prueba.
- Cuidar el grado de dificultad de las cuestiones y su capacidad para discriminar a los alumnos que saben más de los que saben menos.
- Prestar atención al momento de aplicación, si es posible, para evitar influencias de factores extraños a la prueba.
- Controlar la corrección, estableciendo criterios claros y objetivos, de modo que se evalúe igual toda la prueba y a todos los alumnos. Esto es especialmente importante si intervienen varios profesores en la corrección.

De los dos requisitos indicados, el más importante es la validez, ya que si una prueba no es válida, no tiene ninguna utilidad. Una prueba válida ya tiene un cierto grado de fiabilidad.

Capítulo 3

Programación de la asignatura *Radiocomunicaciones*

En este capítulo se describe la programación docente de la asignatura *Radiocomunicaciones*. Dicha programación se lleva a cabo teniendo en cuenta el contexto descrito anteriormente, y en particular se realiza en el marco del Plan de Estudios 2010. En primer lugar se describe la estructura del capítulo (§3.1), relacionándola con los distintos apartados de la guía de aprendizaje definida por la Universidad Politécnica de Madrid. La programación se desarrolla por medio de los siguientes apartados: información general de la asignatura (§3.2); delimitación de ésta respecto a las demás del plan de estudios (§3.3), objetivos de la asignatura (§3.4), metodología (§3.5), planificación de los contenidos (§3.6), evaluación (§3.7), cronograma de trabajo (§3.8) y recursos didácticos (§3.9). En cada uno de estos apartados se presenta una discusión general, que se concreta después en la elaboración de las partes correspondientes de la guía de aprendizaje.

3.1. Introducción

Para la planificación de las asignaturas del Plan de Estudios 2010, la Escuela ha adoptado el modelo de guía de aprendizaje fijado por la Universidad Politécnica de Madrid (descrito en §1.3.4). Además ha definido un formato para las tablas que lo conforman, y ha matizado el contenido que debe aparecer en algunas de ellas.

De acuerdo con estas pautas, la información referente a la asignatura se estructura en los puntos relacionados a continuación. Cada uno de estos puntos consta de una o varias tablas que deben aparecer en la guía, cuyos nombres también se indican.

1. “Datos descriptivos”: información básica sobre la asignatura.
2. “Profesorado”: datos de los profesores que imparten la asignatura.
3. “Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad la asignatura”.
4. Objetivos de aprendizaje:
 - (a) “Competencias asignadas a la asignatura y nivel de adquisición”;
 - (b) “Resultados de aprendizaje de la asignatura”.
5. Sistema de evaluación:
 - (a) “Indicadores de logro”, los cuales concretan los resultados de aprendizaje;
 - (b) “Evaluación sumativa”;
 - (c) “Criterios de calificación”.
6. “Contenidos y actividades de aprendizaje”: planificación de la asignatura por contenidos (capítulos o apartados), relacionándolos con indicadores de logro.
7. “Modalidades organizativas utilizadas y métodos de enseñanza empleados”: relación de todas las técnicas docentes empleadas en la asignatura (sin distinguir cuándo o en que actividades se utiliza cada una).
8. “Recursos didácticos”: bibliografía y recursos requeridos en la asignatura.
9. “Cronograma de trabajo de la asignatura”: planificación detallada por semanas, indicando para cada una contenidos, actividades de enseñanza y actividades de evaluación.

En la elaboración de la programación docente se va a seguir el esquema marcado por la guía de aprendizaje. No obstante, para facilitar la exposición se va a modificar ligeramente el orden de presentación de los puntos relacionados anteriormente. El desarrollo que se va a seguir consta de los apartados que se indican a continuación:

- Información general sobre la asignatura: datos descriptivos y profesorado. Corresponde a los puntos **1** y **2** de la guía de aprendizaje.
- Delimitación de la asignatura en relación con las demás del Plan de Estudios, para determinar asignaturas de las que depende y que dependen de ésta. Este apartado cubre, ampliándolo, el punto **3** de la guía.

3.2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ASIGNATURA

- Objetivos: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro. Cubre los puntos 4 y 5a.
- Metodología. Cubre el punto 7.
- Planificación de contenidos. Corresponde al punto 6 de la guía de aprendizaje.
- Sistema de evaluación. Cubre los puntos 5b y 5c, ampliándolos.
- Cronograma de la asignatura. Coincide con el punto 9 de la guía de aprendizaje.
- Recursos didácticos. Cubre el punto 8.

Cada uno de estos apartados se ocupa de un aspecto de la programación. Dentro de cada apartado, se presenta en primer lugar una discusión sobre el aspecto concreto de que ese trate (excepto en el primer apartado, en el que no es necesaria), y de acuerdo con ello se rellena la tabla o tablas asociadas de la guía de aprendizaje.

Si bien la programación se centra en el Plan de Estudios 2010, una vez finalizada ésta se presentan algunas consideraciones sobre su adaptación al Plan de Estudios 1994.

3.2. Información general sobre la asignatura

3.2.1. Datos descriptivos (guía de aprendizaje)

Los datos generales de la asignatura, tal como vienen especificados por el Plan de Estudios 2010, se indican en la tabla 3.1, que corresponde a la tabla “Datos descriptivos” de la guía de aprendizaje. El curso académico considerado es el primero en que se impartirá la asignatura.

3.2.2. Profesorado (guía de aprendizaje)

Los datos relativos al profesorado pueden variar en cada curso académico. En la tabla 3.2 se rellenan estos datos de acuerdo con la situación actual de la asignatura homónima del Plan 1994, a modo de ejemplo. Esta tabla corresponde a la denominada “Profesorado” en la guía de aprendizaje.

Tabla 3.1: Datos descriptivos de *Radiocomunicaciones*

| | |
|----------------------------|--|
| Asignatura | Radiocomunicaciones |
| Materia | M9: Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación |
| Departamento responsable | Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones |
| Créditos ECTS | 6 |
| Carácter | Obligatoria de itinerario |
| Titulación | Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación |
| Curso | Cuarto |
| Especialidad | Itinerario en Sistemas de Telecomunicación |
| Curso académico | 2013–14 |
| Semestre en que se imparte | Primero |
| Idioma en que se imparte | Castellano |
| Página web | http://www.grc.ssr.upm.es http://moodle.upm.es |

Tabla 3.2: Profesorado de *Radiocomunicaciones*

| Nombre y apellidos | Despacho | Correo electrónico |
|----------------------------------|----------|--|
| José Manuel Riera Salís (coord.) | C-430 | riera@grc.ssr.upm.es |
| Luis Mendo Tomás | C-425 | lmendo@grc.ssr.upm.es |

3.3. Delimitación de la asignatura respecto a las demás del plan de estudios

El Plan de Estudios 2010 establece la siguiente descripción del contenido de *Radiocomunicaciones*:

Introducción a las radiocomunicaciones. Fundamentos de los enlaces radioeléctricos. Radiopropagación. Radioenlaces terrenales y espaciales. Sistemas de radiodifusión. Prácticas de laboratorio.

Para delimitar con mayor precisión el contenido de *Radiocomunicaciones* y detectar dependencias con otras asignaturas, es necesario tener información sobre el contenido de éstas últimas. Para ello pueden utilizarse las descripciones que aparecen en el Plan. Sería preferible disponer de la guía de aprendizaje de cada asignatura, que es más detallada; sin embargo, el proceso de implantación del plan está en curso y actualmente sólo se ha publicado la guía para las asignaturas de

primer año. Una alternativa mejor sería que los profesores de asignaturas relacionadas llevaran a cabo una planificación *coordinada* de las mismas, adaptando los programas respectivos a las necesidades conjuntas (tal como se sugiere en [21]). No obstante, esa planificación coordinada sería un trabajo de varios profesores, lo cual excede del ámbito de este Proyecto Docente. Por tanto, para elaborar la planificación de *Radiocomunicaciones* se va a utilizar únicamente la descripción de las asignaturas que aparece en el Plan de Estudios. El Anexo §C recoge esta información para las asignaturas relacionadas con *Radiocomunicaciones*.

Asignaturas de las que depende *Radiocomunicaciones* A partir de la descripción que aparece en el Plan 2010, así como del análisis de las restantes asignaturas, se deduce que *Radiocomunicaciones* tiene como base los siguientes conceptos impartidos en otras asignaturas:

- Conceptos básicos de teoría de la probabilidad y variables aleatorias unidimensionales: en la asignatura *Señales Aleatorias*, impartida en segundo curso, primer semestre.
- Elementos de un sistema digital de comunicación, incluyendo modulación, codificación de canal y entrelazado: en la asignatura *Teoría de la Comunicación*, impartida en segundo curso, segundo semestre.
- Introducción a la transmisión por radio: en *Sistemas de Transmisión*, impartida en tercer curso, primer semestre.
- Fundamentos de radiación, caracterización de antenas, ruido, aspectos básicos de la propagación de ondas: en *Radiación y Propagación*, impartida en tercer curso, segundo semestre.
- Modulaciones digitales usuales, incluyendo descripción, análisis de tasa de error y características espectrales: en *Comunicaciones Digitales/Transmisión Digital*, impartida en cuarto curso, primer semestre.

La asignatura *Radiocomunicaciones* se imparte en cuarto curso, primer semestre. Como se ve, todas las asignaturas de las que depende excepto *Comunicaciones Digitales/Transmisión Digital* se imparten con anterioridad.

Se echa en falta en el Plan de Estudios la inclusión, en alguna asignatura, de una descripción de las técnicas de codificación de canal mediante códigos convolucionales y códigos turbo. Estos códigos son utilizados en la mayoría de los sistemas de radiocomunicaciones actuales. Según el Plan de Estudios, la asignatura *Teoría de la Información* incluye “códigos bloque” y “códigos lineales” (véase anexo §C), pero, si bien los códigos convolucionales y turbo ciertamente son lineales, no queda claro si la asignatura incluye un estudio específico de los mismos.

Asignaturas que dependen de *Radiocomunicaciones* Algunos de los conceptos aprendidos en la asignatura sirven como base para otras:

- Modelo energético y ecuaciones básicas del enlace radio, ruido en receptores de radio, modelos de propagación, caracterización del canal: para *Comunicaciones Móviles*, impartida en cuarto curso, primer semestre.
- Descripción general de sistemas de radiocomunicaciones y fundamentos de sistemas de comunicaciones por satélite: para *Sistemas de Telecomunicación*, impartida en cuarto curso, segundo semestre.
- Modelo energético y ecuaciones básicas del enlace radio, ruido en receptores de radio: para *Sistemas de Radiodeterminación*, impartida en cuarto curso, segundo semestre.

Asignaturas con las que existe posibilidad de solapamiento Existe posibilidad de solapamiento con la asignatura *Comunicaciones Móviles* en los siguientes puntos:

- Modelos de propagación utilizados en comunicaciones móviles que también tienen aplicación en otros sistemas de radiocomunicaciones: modelo de Tierra plana, difracción, modelo de Okumura-Hata.
- Conceptos básicos de sistemas de radiocomunicaciones móviles.

También existe posibilidad de solapamiento con *Sistemas de Telecomunicación*, en concreto en lo que se refiere a

- Sistemas de radiocomunicación por satélite.

Contenido de *Radiocomunicaciones* Teniendo en cuenta la descripción de la asignatura fijada por el Plan de Estudios y las dependencias indicadas anteriormente, el contenido de *Radiocomunicaciones* queda delimitado de la siguiente forma:

- Introducción a las radiocomunicaciones. Parámetros básicos de emisión, del enlace y de recepción.
- Fundamentos de los enlaces radioeléctricos. Modelo energético. Caracterización de antenas y de ruido.
- Propagación de ondas de radio. Modelos usuales. Caracterización del canal multitrayecto. Caracterización y tratamiento de los desvanecimientos.

- Radioenlaces terrenales y espaciales. Criterios de calidad. Sistemas punto-multipunto. Descripción de tecnologías y sistemas. Conceptos de planificación.
- Sistemas de radiodifusión. Descripción de tecnologías y estándares. Conceptos de planificación.

Los conceptos propios de sistemas de comunicaciones móviles, aunque relacionados con la asignatura *Radiocomunicaciones*, quedan fuera de la misma, por ser objeto de la asignatura *Comunicaciones Móviles*. No obstante, sí se incluyen en *Radiocomunicaciones* los conceptos de posible solapamiento identificados anteriormente, debido a su carácter básico (estos conceptos no se incluirán en *Comunicaciones Móviles*, o sólo a modo de breve repaso; véase §4.3 más adelante). De acuerdo con esto, quedan fuera de *Radiocomunicaciones*:

- Caracterización del canal multitrayecto como sistema lineal variante.
- Modelos de cálculo de la atenuación de propagación específicos para comunicaciones móviles. Sí se tratan modelos que, aunque se utilicen en comunicaciones móviles, tienen una aplicación más general.
- Planificación de redes móviles celulares.
- Descripción de estándares de comunicaciones móviles.

En cuanto al posible solapamiento con *Sistemas de Telecomunicación*, éste se evita porque en *Radiocomunicaciones*, de acuerdo con el Plan de Estudios, se tratan sólo los aspectos fundamentales. No se entra por tanto en la descripción de sistemas, la cual es objeto de la asignatura mencionada.

3.3.1. Tabla de conocimientos previos requeridos (guía de aprendizaje)

De acuerdo con la discusión anterior, la tabla 3.3 muestra los conocimientos previos requeridos, siguiendo el formato de la guía de aprendizaje, y en particular de la tabla allí denominada “Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad la asignatura”. La tabla refleja las asignaturas que deben haber sido necesariamente superadas para poder cursar *Radiocomunicaciones*, es decir, aquéllas que se considera que son *imprescindibles* para poder seguir esta asignatura. Las incluidas en la tabla son por tanto un subconjunto de las identificadas anteriormente.

Tabla 3.3: Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad *Radiocomunicaciones*

| | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Asignaturas superadas | <i>Señales Aleatorias</i> |
| | <i>Teoría de la Comunicación</i> |
| | <i>Radiación y Propagación</i> |
| Otros resultados de aprendizaje | — |

3.4. Objetivos de la asignatura: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro

Una vez delimitado el ámbito de la asignatura, la primera fase de la programación propiamente dicha es la definición de objetivos, ya que a partir de ellos se organiza el resto de elementos. Esta definición se lleva a cabo en los tres niveles marcados por la guía de aprendizaje: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro.

3.4.1. Competencias del Plan de Estudios a cuya adquisición contribuye la asignatura

De todas las competencias definidas en el título (véase §1.3.2.3), la asignatura *Radiocomunicaciones* podría en principio contribuir a las siguientes:

- Competencias generales del título;
- Competencias comunes a la rama de telecomunicación;
- Competencias específicas de la materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación”, a la cual pertenece la asignatura.

Estas competencias aparecen definidas en el Anexo §B.

A partir de la definición de las competencias y de la descripción de *Radiocomunicaciones* establecida por el Plan de Estudios, se asignan a esta asignatura las competencias relacionadas a continuación. En consonancia con el criterio señalado en [21], y tal como han puesto en práctica las guías de aprendizaje ya publicadas en la Escuela, para cada competencia se precisa el nivel de adquisición, utilizando para ello una escala numérica de 1 a 3, en la que los números corresponden respectivamente a “básico”, “medio” o “avanzado”.

- Competencias generales:
 - CG1–13, con nivel 1. Se considera que todas las asignaturas del Plan de Estudios contribuyen en mayor o menor medida a la consecución de las competencias generales del título.
- Competencias comunes a la rama de telecomunicación:
 - CECT1–6, con nivel 1. Se trata de competencias de carácter generalista, a cuya adquisición contribuye en parte la asignatura.
 - CECT8, con nivel 3, ya que esta competencia se refiere a la “capacidad para comprender mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas ...”
 - CECT13, con nivel 2. Hace referencia, entre otros aspectos, a la “capacidad de diferenciar los conceptos de ... redes fijas y móviles”.
 - CECT15, con nivel 1. Se refiere al “conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional”.
- Competencias específicas a la rama de telecomunicación:
 - CE-ST1, con nivel 3. Esta competencia incluye, entre otras capacidades, la de “construir, explotar y gestionar las redes y servicios de telecomunicaciones ... desde el punto de vista de los sistemas de transmisión”.
 - CE-ST2, con nivel 3. Se refiere a la “capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes ... tanto en entornos fijos como móviles, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión”.
 - CE-ST4, con nivel 2. “Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de ... radiodifusión, radioenlaces ...”
 - CE-ST5, con nivel 2. “Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas ... y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias”.

3.4.2. Tabla de competencias y su nivel de adquisición (guía de aprendizaje)

La tabla 3.4 resume las competencias a las que contribuye *Radiocomunicaciones*, siguiendo el formato de la tabla “Competencias asignadas a la asignatura y

nivel de adquisición” definida en el modelo de guía de aprendizaje de la Universidad Politécnica de Madrid.

3.4.3. Resultados de aprendizaje

Los resultados de aprendizaje constituyen los objetivos generales de la asignatura, mientras que los indicadores de logro son objetivos específicos (véanse §1.3.4 y §2.1).

Debido a las razones indicadas en §2.1.3, los objetivos generales o resultados de aprendizaje de la asignatura corresponden a los dominios cognitivo y afectivo, con predominio del cognitivo.

El fin principal de la asignatura *Radiocomunicaciones* es, de acuerdo con su descripción en el Plan de Estudios, proporcionar al alumno conocimientos sobre los fundamentos y planificación de sistemas de radiocomunicaciones, incluyendo la descripción de algunos sistemas. Se dejan fuera las comunicaciones móviles; y en cuanto a los sistemas por satélite se estudian sus fundamentos y planificación pero no se describen sistemas concretos, por los motivos indicados en §3.3.

Complementariamente, es conveniente contribuir a la formación del alumno con el desarrollo de otras habilidades de tipo personal y social, como las capacidades de aprendizaje autónomo y de comunicación. Debe aclararse que estos fines son secundarios respecto al indicado en el párrafo anterior, el cual se deriva de la descripción de la asignatura en el Plan de Estudios.

Teniendo en cuenta estos fines, así como la delimitación de los contenidos de la asignatura llevada a cabo en §3.3, se especifican a continuación los resultados de aprendizaje de *Radiocomunicaciones*. Para mayor claridad, se presentan siguiendo la taxonomía de Bloom, descrita en §2.1.2.

Resultados de aprendizaje en el dominio cognitivo Éste es el bloque principal de resultados de aprendizaje de la asignatura. Desarrollan el fin de proporcionar al alumno conocimientos y habilidades sobre fundamentos y planificación de sistemas de radiocomunicaciones, incluyendo la descripción de algunos sistemas. Se establecen los siguientes.

- Entender los conceptos fundamentales sobre los elementos que conforman un enlace radio: caracterización de antenas, balance energético, ruido e interferencia.
- Conocer los diferentes aspectos que afectan a la propagación de ondas de radio y su influencia sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas.
- Ser capaz de evaluar las prestaciones de cobertura, calidad y capacidad de un sistema de radiocomunicaciones.

3.4. OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA

Tabla 3.4: Competencias asignadas a *Radiocomunicaciones* y nivel de adquisición

| Código | Competencia | Nivel |
|---------|---|-------|
| CG1-13 | Todas las asignaturas del Plan de Estudios contribuyen en mayor o menor medida a la consecución de las competencias generales del perfil del título | 1 |
| CECT1-6 | Competencias de carácter generalista, a cuya adquisición contribuye en parte la asignatura | 1 |
| CECT8 | Capacidad para comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores | 3 |
| CECT13 | Capacidad de diferenciar los conceptos de redes de acceso y transporte, redes de conmutación de circuitos y de paquetes, redes fijas y móviles, así como los sistemas y aplicaciones de red distribuidos, servicios de voz, datos, audio, vídeo y servicios interactivos y multimedia | 2 |
| CECT15 | Conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional | 1 |
| CE-ST1 | Capacidad para construir, explotar y gestionar las redes, servicios, procesos y aplicaciones de telecomunicaciones, entendidas éstas como sistemas de captación, transporte, representación, procesamiento, almacenamiento, gestión y presentación de información multimedia, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión | 3 |
| CE-ST2 | Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión | 3 |
| CE-ST4 | Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación | 2 |
| CE-ST5 | Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias | 2 |

- Conocer los principales estándares o tecnologías de radiodifusión y de redes inalámbricas de acceso.
- Conocer la normativa nacional e internacional aplicable a los sistemas de radiocomunicaciones.
- Ser capaz de diseñar un sistema de radiocomunicaciones utilizando los conceptos fundamentales de caracterización del enlace, propagación y normativa.
- Conocer el funcionamiento general de herramientas informáticas de planificación radio, y tener destreza en el manejo de alguna.
- Saber manejar equipos de medida de laboratorio utilizados en radiocomunicaciones e interpretar los resultados.
- Conocer órdenes de magnitud de las variables implicadas en el análisis y diseño de un sistema de radiocomunicaciones.

Resultados de aprendizaje del dominio afectivo Como se ha indicado, es deseable que el alumno adquiera, adicionalmente ciertas habilidades y actitudes de índole más general. Éstas se concretan en los siguientes resultados de aprendizaje.

- Ser capaz de aprender de forma autónoma.
- Tener creatividad en los aspectos técnicos relacionados con la asignatura.
- Ser capaz de trabajar en equipo de forma organizada.
- Ser capaz de comunicarse de forma efectiva, especialmente en público.

Estos objetivos son comunes a los que pueden plantearse en otras asignaturas del Plan de Estudios. Por tanto deben entenderse como mejoras o contribuciones a capacidades adquiridas por otras vías.

3.4.4. Tabla de resultados de aprendizaje (guía de aprendizaje)

La tabla 3.5 contiene los resultados de aprendizaje con sus competencias asociadas y nivel de adquisición. Éste último se representa con una escala numérica, donde 1 indica “conocimiento”, 2 “comprensión, aplicación” y 3 “análisis, síntesis, implementación”. La tabla corresponde a la que en la guía se denomina “Resultados de aprendizaje de la asignatura”.

Debe señalarse que en la tabla no aparecen todas las competencias que en §3.4.1 se han identificado como relacionadas con *Radiocomunicaciones*, sino sólo

aquellas que forman parte de los objetivos de la asignatura. Las competencias a cuya adquisición contribuye la asignatura pero que no se evalúan dentro de la misma no se incluyen en la tabla.

El Anexo §B contiene las definiciones de todas las competencias a las que se hace referencia en la tabla 3.5.

3.4.5. Indicadores de logro

Los indicadores de logro especifican y objetivizan los resultados de aprendizaje. La lista de indicadores de logro representa todos los conocimientos o habilidades que el alumno debe adquirir en la asignatura. Sirven además de base para la evaluación de la asignatura, ya que a través de ellos se mide el aprendizaje y se califica al alumno. Por tanto, deben ser concretos y observables.

3.4.6. Tabla de indicadores de logro (guía de aprendizaje)

El desarrollo de resultados de aprendizaje en indicadores de logro se muestra en la tabla 3.6, siguiendo el formato de la tabla “Indicadores de logro” de la guía de aprendizaje.

3.5. Metodología

Se describen a continuación los métodos, técnicas y medios de enseñanza utilizados en la asignatura. La selección de los mismos, y su exposición, se basan en los conceptos generales presentados en §2.2.

3.5.1. Métodos

De los métodos docentes vistos en §2.2.1, para la asignatura *Radiocomunicaciones* resulta aplicable lo siguiente.

En cuanto a la forma de razonamiento El enfoque de la asignatura es principalmente deductivo, dada la materia de la que trata. En algunos casos puede ser conveniente utilizar un método comparativo como forma de introducir un concepto. Más concretamente, puede usarse un método comparativo en relación con los siguientes conceptos:

- Puede establecerse una analogía entre la propagación de ondas de radio y la de la luz o el sonido, para explicar efectos como el desplazamiento Doppler (o dispersión Doppler), refracción o difracción.

Tabla 3.5: Resultados de aprendizaje en *Radiocomunicaciones*

| Código | Resultado de aprendizaje | Competencias | Nivel |
|--------|--|------------------------|-------|
| RA1 | Entender los conceptos fundamentales sobre los elementos que conforman un enlace radio: caracterización de antenas, balance energético, ruido e interferencia. | CE-ST2 | 2 |
| RA2 | Conocer los diferentes aspectos que afectan a la propagación de ondas de radio y su influencia sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas. | CECT8 | 2 |
| RA3 | Ser capaz de evaluar las prestaciones de cobertura y de calidad de un sistema de radiocomunicaciones. | CE-ST2 | 2 |
| RA4 | Conocer los principales estándares o tecnologías de radiodifusión y de redes inalámbricas de acceso. | CE-ST2 | 1 |
| RA5 | Conocer la normativa nacional e internacional aplicable a los sistemas de radiocomunicaciones. | CECT15 | 1 |
| RA6 | Ser capaz de diseñar un sistema de radiocomunicaciones utilizando los conceptos fundamentales de caracterización del enlace, propagación y normativa. | CE-ST2, CE-ST4, CE-ST5 | 3 |
| RA7 | Conocer el funcionamiento general de herramientas informáticas de planificación radio, y tener destreza en el manejo de alguna. | CG9, CECT2 | 2 |
| RA8 | Saber manejar equipos de medida de laboratorio utilizados en radiocomunicaciones e interpretar los resultados. | CE-ST2 | 2 |
| RA9 | Conocer órdenes de magnitud de las variables implicadas en el análisis y diseño de un sistema de radiocomunicaciones. | CE-ST2 | 2 |
| RA10 | Ser capaz de aprender de forma autónoma. | CECT1 | 2 |
| RA11 | Tener creatividad en los aspectos técnicos relacionados con la asignatura. | CG10 | 2 |
| RA12 | Ser capaz de trabajar en equipo de forma organizada. | CG7, CG12 | 1 |
| RA13 | Ser capaz de comunicarse de forma efectiva, especialmente en público. | CG4, CG8 | 1 |

Tabla 3.6: Indicadores de logro en *Radiocomunicaciones*

| Código | Indicador de logro | Result. apr. |
|--------|--|-------------------|
| I1 | Conocer los parámetros fundamentales de un sistema de radiocomunicación | RA1 |
| I2 | Caracterizar una antena en transmisión y en recepción, por medio de sus circuitos equivalentes, diagramas de radiación y parámetros relacionados | RA1 |
| I3 | Comprender el modelo energético de un enlace radio, incluyendo los efectos del ruido y desvanecimientos | RA1, RA3, RA9 |
| I4 | Realizar cálculos básicos de interferencia en sistemas de radiocomunicaciones | RA1 |
| I5 | Conocer los diferentes modelos de cálculo de atenuación de propagación y saber cuándo son aplicables | RA2, RA9 |
| I6 | Comprender el efecto de la variabilidad en la propagación y las medidas aplicadas en la planificación para contrarrestarlos | RA2, RA9 |
| I7 | Conocer los principales estándares o tecnologías de redes inalámbricas de acceso | RA4 |
| I8 | Conocer los principales estándares o tecnologías de radiodifusión | RA4 |
| I9 | Conocer la normativa nacional e internacional sobre radiocomunicaciones | RA5 |
| I10 | Realizar diseños de radioenlaces y analizar sus prestaciones | RA3, RA6, RA9 |
| I11 | Realizar diseños de redes inalámbricas de acceso y analizar sus prestaciones | RA3, RA6, RA9 |
| I12 | Realizar diseños de sistemas de radiocomunicación por satélite y analizar sus prestaciones | RA3, RA6, RA9 |
| I13 | Realizar diseños de sistemas de radiodifusión terrenal y analizar sus prestaciones | RA3, RA6, RA9 |
| I14 | Definir los parámetros de un sistema y realizar cálculos de cobertura utilizando una herramienta de planificación radioeléctrica | RA7 |
| I15 | Manejar equipos de medida de laboratorio de comunicaciones e interpretar los resultados | RA8, RA9 |
| I16 | Ser capaz de realizar un trabajo en grupo sobre el diseño de un sistema de radiocomunicación | RA6, RA7, RA10–12 |
| I17 | Ser capaz de hacer una presentación técnica en público | RA13 |

- En la descripción de estándares o tecnologías concretas pueden establecerse comparaciones, ya que muchas de ellas utilizan el mismo tipo de soluciones y compromisos para hacer frente a los problemas derivados de la propagación radio: codificación de canal con entrelazado (desvanecimiento variante en el tiempo), modulaciones multiportadora (desvanecimiento selectivo en frecuencia).

En cuanto a la coordinación de la materia Se sigue un método lógico, como es habitual en enseñanzas universitarias.

En cuanto a la concretización de la enseñanza El método predominante es el simbólico. No obstante, es posible aplicar en algunas situaciones un método intuitivo para ilustrar ciertos conceptos.

En relación con el enfoque intuitivo, se prevé el uso de herramientas de planificación radio en el aula para mostrar las diferencias entre varios métodos de cálculo de la atenuación de propagación, así como la visualización de los efectos de la propagación multitrayecto por medio de un analizador de espectros portátil. En §3.5.2 se describen con más detalle estas herramientas.

En cuanto a la sistematización de la materia El método utilizado es sistematizado. Adicionalmente, como se indica más adelante en §3.5.2, se prevé dedicar un poco de tiempo al comienzo o al final de algunas clases para comentar algunas noticias relacionadas con sistemas de radiocomunicaciones, lo cual constituye un uso del método ocasional.

En cuanto a las actividades de los alumnos El método de enseñanza en el aula es principalmente activo, en el sentido de que se busca la participación del alumno, bien mediante trabajos realizados por él, bien mediante su seguimiento de las argumentaciones utilizadas por el profesor en la exposición oral, o mediante su participación directa en clase. Por supuesto, la medida en que el método sea realmente activo depende de la habilidad del profesor para motivar a los alumnos en este sentido.

En el laboratorio el método de enseñanza es marcadamente activo, ya que el alumno participa realizando las prácticas programadas.

En cuanto a la globalización de conocimientos El método es esencialmente especializado. No obstante, es conveniente relacionar los conocimientos impartidos con los de otras asignaturas, y más aún en el caso de una asignatura de último curso, en la cual el alumno está en la mejor situación para ello. Por tanto, en el aula deben ponerse de manifiesto estas relaciones siempre que sea posible. Esto

no sólo facilita la ubicación de la materia dentro de un esquema general por parte del alumno, sino que ayuda en la impartición de la asignatura por el profesor y en su asimilación por los alumnos, al hacer uso de conocimientos previos de éstos.

En cuanto a la relación entre profesor y alumno En el aula se utiliza sobre todo un método colectivo (exposición en el aula). En el laboratorio el método se aproxima más al individual, al ser posible una interacción más directa con cada alumno. Se emplea también un método individual en las tutorías, en las que se puede tener un trato más personalizado y atender las necesidades propias de cada alumno.

En cuanto al trabajo del alumno Se combinan los métodos individual y colectivo, con preponderancia del primero. Dado el tipo de asignatura, el aprendizaje de la misma se logra principalmente mediante el esfuerzo intelectual que individualmente realiza cada alumno. Sin embargo, se considera interesante utilizar también en cierta medida el método colectivo, con dos finalidades. Por un lado, posibilita el aprendizaje de ciertos temas por una vía diferente a las tradicionales (técnica expositiva y trabajo individual del alumno). Esta mayor variedad en cuanto a la forma de aprendizaje redundará en un menor cansancio y mayor grado de interés del alumno. Por otro lado, contribuye al desarrollo de habilidades relacionadas con el trabajo en grupo, de acuerdo con los resultados de aprendizaje afectivos de la asignatura (§3.4.3).

En cuanto a la aceptación de lo enseñado El método se basa en el descubrimiento, en el sentido de comprender antes que fijar. Esto es consistente con la base física y matemática de la asignatura. Los conocimientos fundamentales de la misma se basan en razonamientos lógicos que deben comprenderse y discutirse hasta su aceptación por el alumno como algo cierto. En la parte de descripción de tecnologías concretas también se seguirá en lo posible este enfoque, tratando de descubrir el sentido de los parámetros o de las técnicas utilizadas en cada sistema.

3.5.2. Técnicas

De las técnicas enumeradas en §2.2.2, se seleccionan para *Radiocomunicaciones* las indicadas a continuación.

Técnica expositiva Se utiliza para la mayoría de los temas, como es habitual, debido a sus ventajas.

Pregunta Se utiliza asociada a la técnica expositiva.

Phillips 66 / diálogo simultáneo Se puede emplear cualquiera de estas técnicas en la introducción de algunos temas, para estimar el nivel de conocimientos previos de los alumnos, o como técnica de motivación, al presentar un tema.

Se propone su utilización en los siguientes puntos:

- Como forma de recordar conceptos básicos, por ejemplo de radiación y de comunicaciones digitales, que deben ser conocidos por los alumnos.
- Para comprobar el grado de comprensión de los alumnos en lo que respecta a algunos de los conceptos de la asignatura, como la caracterización del ruido en el receptor o los compromisos asociados a la reutilización de frecuencias. Para ello pueden plantearse cuestiones del tipo “Si se acorta el cable de conexión entre la antena y el receptor, ¿cómo varía la relación señal/ruido obtenida? o “¿Por qué en redes de radiodifusión analógicas se utilizan relaciones de protección mayores que en comunicaciones móviles digitales?”.
- Para que los alumnos intenten descubrir por sí solos algunos conceptos, como por ejemplo las ventajas de las modulaciones multiportadora en cuanto a ecualización.

La decisión de en qué puntos utilizar estas técnicas puede modificarse en el transcurso de la impartición de la asignatura, ya que en función de las características de la clase puede ser conveniente añadir otros o eliminar alguno de los propuestos.

La elección entre Phillips 66 o diálogo simultáneo puede hacerse en el momento, en función de las condiciones de la clase.

Discusión en el aula de noticias relacionadas con la asignatura El profesor reserva un breve espacio de tiempo al comienzo o al final de algunas clases para comentar noticias relacionadas con la asignatura, cuando existan. Las noticias se proyectan en clase y se discuten por parte del profesor y de los alumnos.

Esta técnica contribuye a la motivación del alumno, poniendo de manifiesto la relación de la asignatura con la sociedad, y permite mostrar, aunque sea brevemente, aspectos de mercado o relacionados con el mundo empresarial.

Seminario Se utiliza para la realización de trabajos en grupo, que luego son presentados al resto de la clase. Cada grupo realiza un diseño de una red de radio-comunicaciones con características realistas, basada en alguna de las tecnologías existentes en la actualidad.

La presentación de los trabajos se hace en clase, para lo cual se reservan horas del horario normal de la asignatura.

Demostración directa Se emplea para la presentación intuitiva en el aula de algunos conceptos vistos de forma teórica. Se basa en la realización de demostraciones prácticas o simulaciones mediante ordenador.

Un punto en el que resulta de gran interés la demostración directa es en la ilustración, mediante una herramienta informática de planificación radio, de las diferencias entre algunos de los métodos de cálculo de atenuación vistos en la asignatura. La demostración permite además que los alumnos conozcan las características de este tipo de herramientas. Se prevé para ello el uso de la aplicación Xirio-online o similar, con mapas digitales del terreno de alta resolución, disponibles a través de una licencia de uso docente. Otra ventaja de esta demostración es que esta herramienta puede ser de utilidad para la realización del trabajo en grupo sobre planificación de una red de radiocomunicaciones.

Se contempla además el uso de un analizador de espectros portátil (serie FSH de Rohde & Schwarz) para ilustrar algunos de los conceptos de propagación explicados en la asignatura, y para visualizar señales de algunos de los sistemas de radiocomunicaciones estudiados. En concreto, el uso de este equipamiento puede reforzar la comprensión de los siguientes conceptos:

- Desvanecimiento multitrayecto en señales de radio, incidiendo especialmente en su amplio margen de variación, su fuerte dependencia con la posición en la que se sitúe la antena y su carácter selectivo en frecuencia (para señales con suficiente ancho de banda).
- Ancho de banda y características espectrales de las señales recibidas de radiodifusión analógica de radio, radiodifusión digital de televisión y comunicaciones móviles.

Prácticas de laboratorio Se prevé la realización por parte de los alumnos de medidas y otros trabajos en el laboratorio. Se utilizan equipos reales, instrumentación de medida de radiocomunicaciones y herramientas software de planificación radio de uso profesional. Las prácticas realizadas están muy relacionadas con conceptos vistos en clase. (En §3.6.2 se ofrece una descripción detallada de las prácticas planificadas).

Tutorías Además de su uso habitual para orientación al alumno en temas propios de la asignatura o en cuestiones más generales relacionadas con la carrera, las tutorías se utilizan para la supervisión de los trabajos en grupo, antes de su presentación en clase.

3.5.3. Medios

Para el desarrollo de los contenidos de la asignatura se utilizan los medios descritos a continuación.

Pizarra Se utiliza para el desarrollo de la mayoría de los temas.

En las aulas de la Escuela se dispone de una pizarra oscura de gran tamaño, con tiza de color blanco y de colores. La pizarra está situada en el centro de la tarima, de modo que queda elevada, lo cual facilita su visión.

Sistema de presentación Se emplea como complemento o sustitución de la pizarra para la mayoría de los puntos, en los que el desarrollo basado en este medio es más conveniente.

Se prevé el uso del programa PowerPoint para Windows. Todas las aulas disponen de pantalla blanca y de proyector instalado en el techo. En algunas aulas la pantalla está situada delante de la pizarra, lo cual condiciona ligeramente su uso:

- Cuando la pantalla está extendida queda oculta la parte central de la pizarra. Por tanto, sólo pueden utilizarse los partes laterales de la misma.
- Se tarda un cierto tiempo en desplegar y en recoger la pizarra. Conviene por tanto minimizar el número de cambios entre uso de pantalla y uso de pizarra principal a lo largo de una misma clase.

Demostración basada en ordenador Se emplea para realizar demostraciones prácticas o simulaciones de algunos aspectos vistos de forma teórica. En concreto, como se ha visto en §3.5.2, se utilizan una herramienta de planificación radio y un analizador de espectros con conexión al ordenador.

El uso de la herramienta de planificación radio requiere el siguiente material:

- Ordenador portátil con sistema operativo Windows.
- Acceso a Internet, para el uso de la herramienta Xirio-online. El acceso puede conseguirse fácilmente a través de las redes de área local inalámbricas existentes en la Escuela.

Para el uso del analizador de espectros se necesita:

- Analizador de espectros portátil, de la serie FSH de Rohde & Schwarz o similar.
- Antena de recepción.

- Cable óptico de conexión.
- Ordenador portátil con sistema operativo Windows.
- Programa FSH View o similar, para visualizar la pantalla del analizador de espectros en el ordenador, lo cual permite proyectarla en el aula.

Laboratorio Una parte de los créditos de la asignatura se dedican a la realización de prácticas de laboratorio. Se utiliza para ello un laboratorio dotado con equipos de radiocomunicaciones, instrumentación de medida y herramientas informáticas de planificación y simulación. Concretamente, en el Departamento se dispone de [16]:

- Analizadores de espectro Hewlett-Packard ESA 1500;
- Generadores de señal en radiofrecuencia;
- Equipos de medida de terminales móviles GSM, GPRS, UMTS y HSDPA (CMU200, de Rohde & Schwarz) y terminales sobre los cuales realizar las medidas;
- Equipos de radioenlace en UHF (LEDR 400F de Microwave Data Systems) e instrumentación para medida de tasa de error (HP3788A de Hewlett-Packard, K4305 de Siemens-Tektronix);
- Ordenadores personales;
- Herramienta de planificación radio Sirenet con licencias para uso docente;
- Software para medida de cobertura de redes Wi-Fi (Site Survey, de Ekahau).
- Software para medida de la interfaz radio en redes GSM, GPRS y UMTS (Romes, de Rohde & Schwarz), con terminal móvil compatible.¹

Este equipamiento se utiliza actualmente en una asignatura de laboratorio del Plan de Estudios anterior (1994). Previsiblemente se ampliará la dotación del laboratorio con nuevos equipos en el futuro.

¹Aunque el uso principal de este equipamiento es la investigación, se incluye en la lista siguiendo el criterio del Plan de Estudios, que señala que los medios que permiten abordar la impartición del título “incluyen los específicamente docentes, pero también los dedicados a las actividades de investigación y desarrollo de la Escuela, que de forma directa o indirecta son también utilizados en la docencia de las diversas titulaciones que se imparten” [16].

Plataforma Moodle Se prevé el uso de la plataforma Moodle de la Universidad Politécnica de Madrid como medio preferente para el intercambio de información. Entre otras características, esta plataforma sirve para depositar el material didáctico de la asignatura, comunicarse de forma personalizada con los alumnos, crear foros en los que puedan participar todos los alumnos y definir grupos para facilitar la coordinación en los trabajos en grupo.

Acceso a bases de datos de documentos La Escuela cuenta con acceso a bases de datos de documentos electrónicos, incluyendo las de la UIT, IEEE e IET. Esto puede ser útil a los alumnos para ampliar algunos de los contenidos vistos en la asignatura, y especialmente para el trabajo final, cuya realización incluye una parte de búsqueda de información.

3.5.4. Tabla de métodos de enseñanza (guía de aprendizaje)

La tabla 3.7 recoge las técnicas² propuestas para la enseñanza de la asignatura, siguiendo el formato de la guía de aprendizaje, en particular de la tabla allí denominada “Modalidades organizativas utilizadas y métodos de enseñanza empleados”.

3.6. Planificación de los contenidos

Se presenta a continuación una planificación de los contenidos de la asignatura en capítulos y apartados, relacionando cada apartado con uno o varios de los indicadores de logro definidos en §3.4.6.

En la planificación se distinguen por un lado los contenidos teóricos, ligados fundamentalmente a la impartición en el aula, y por otro las prácticas de laboratorio y trabajo final.

3.6.1. Contenidos teóricos

Los contenidos teóricos seleccionados se basan en la descripción de la asignatura que aparece en el plan de estudios, y en la delimitación que se ha hecho en §3.3. Aunque no aparece en la descripción, se ha añadido un capítulo sobre redes de acceso (punto-multipunto), en el que fundamentalmente se describen los sistemas IEEE 802.11 (Wi-Fi) e IEEE 802.16 (WiMAX), debido a la importancia actual de estas tecnologías.

²Si bien en la guía de aprendizaje aparece la denominación “métodos de enseñanza”, el contenido que según [21] debe aparecer en la tabla corresponde a lo que en este documento se denomina “técnicas de enseñanza”, de acuerdo con §2.2.

Tabla 3.7: Métodos de enseñanza empleados en *Radiocomunicaciones*

| | |
|--------------------------|---|
| Clases de teoría | Se utilizará la lección magistral para la exposición verbal de los contenidos, apoyándose en recursos audiovisuales. Se integrarán en el aula las técnicas expositiva, pregunta, Philips 66 y diálogo simultáneo. |
| Clases de problemas | Se resolverán problemas que servirán para aplicar los conocimientos adquiridos en las clases de teoría. Se utilizarán las técnicas expositiva y pregunta. |
| Demostración directa | Se realizarán demostraciones en el aula con herramientas informáticas y equipos de medida para ilustrar algunos de los conceptos. |
| Prácticas de laboratorio | Los alumnos realizarán prácticas sobre equipos reales con instrumentación de medida de radiocomunicaciones, y trabajarán con herramientas software profesionales de planificación radio. |
| Trabajos autónomos | Los alumnos deberán realizar los problemas o ejercicios que se les propongan, para afianzar los conocimientos adquiridos. |
| Trabajos en grupo | Las prácticas de laboratorio se realizarán en grupo. Además los alumnos deberán realizar un trabajo en equipo (cada uno formado por 4–6 alumnos) sobre planificación de un sistema de radiocomunicaciones. |
| Tutorías | Los alumnos podrán hacer uso de tutorías personalizadas y en grupo, ya sea de forma presencial, por correo electrónico o mediante la plataforma Moodle. |

La estructura de la asignatura por capítulos queda como sigue:

1. Introducción a las radiocomunicaciones.
2. Fundamentos de los enlaces radioeléctricos.
3. Propagación.
4. Radioenlaces terrenales.
5. Redes inalámbricas de acceso.
6. Radiocomunicaciones por satélite.
7. Radiodifusión.

De acuerdo con esto, los contenidos de la asignatura pueden dividirse en tres categorías:

- Conceptos fundamentales sobre radiocomunicaciones, válidos para todos los tipos de sistemas: capítulos 1–3;
- Conceptos genéricos relativos a determinadas categorías de sistemas: capítulos 4, 6 y parte del 7;
- Descripción de sistemas o estándares concretos: capítulo 5 y parte del 7.

La división de capítulos en apartados se especifica más adelante en §3.6.3.

3.6.2. Prácticas de laboratorio y trabajo final

Las prácticas de laboratorio y el trabajo final que se han planificado son los siguientes:

1. Medida de un radioenlace: caracterización de equipos transmisor y receptor y medida de tasa de error en diferentes condiciones de atenuación, utilizando analizador de espectros y equipos de medida de tasa de bits erróneos.
2. Planificación radio: manejo de la herramienta de planificación radio Sirenet y aplicación de conceptos básicos de planificación.
3. Medida de terminales móviles GSM/GPRS: caracterización de terminales y medida de diversos parámetros de transmisión y de recepción, utilizando un equipo de medida específico para terminales móviles de Rohde & Schwarz.
4. Medidas de cobertura en redes Wi-Fi o móviles: estudio de la cobertura en el interior de la Escuela a partir de los niveles de recepción en sentido descendente, utilizando herramientas profesionales de medida de cobertura: Site Survey para Wi-Fi, y Romes para GSM o UMTS.
5. Trabajo final de planificación radio: diseño de una red de radiocomunicaciones con datos realistas, utilizando alguna de las tecnologías vistas en la asignatura.

La selección de las prácticas se ha hecho teniendo en cuenta que las medidas o simulaciones realizadas traten temas de actualidad, que estén relacionadas con conceptos vistos en la parte teórica, y que puedan realizarse con el equipamiento de laboratorio disponible (el cual se ha detallado en §3.5.3). A pesar de que la asignatura no cubre la descripción de tecnologías móviles, se ha incluido la

medida de un terminal móvil GSM/GPRS. Esta elección se justifica por la importancia actual de las redes móviles dentro de los sistemas de radiocomunicación. Las medidas en esta práctica abarcan principalmente parámetros radio generales (no exclusivos de los sistemas móviles) como sensibilidad, tasa de error y espectros de emisión, que se estudian en la parte teórica de la asignatura. Igualmente, se ha incluido una práctica de medida de cobertura en la que opcionalmente se trabaja con redes móviles, y cuyo objetivo principal es el uso de una herramienta de medida profesional y la observación de coberturas reales; el hecho de usar una red móvil se basa simplemente en la disponibilidad del equipamiento, y no es necesario un conocimiento detallado de las tecnologías de comunicaciones móviles implicadas para poder realizar e interpretar las medidas.

Las prácticas se realizan en el laboratorio en grupos de 2 ó 3 alumnos. En cada práctica se entrega un guión que introduce el tema de la práctica, describe las tareas y plantea preguntas relacionadas con el trabajo realizado. Se prevé una dedicación de 2 horas en el laboratorio para cada práctica. Tras su realización, cada grupo de alumnos entrega una memoria, en la cual deben incluirse las respuestas a las preguntas o medidas planteadas, así como cualquier otro comentario que se considere relevante.

El trabajo final tiene un desarrollo más libre. Una parte puede realizarse en el laboratorio, utilizando la herramienta de planificación allí disponible, o pueden emplearse otras. El trabajo incluye además trabajo individual y en equipo fuera del laboratorio.

A continuación se describe con mayor detalle el contenido de cada práctica y del trabajo final; su duración y el equipamiento utilizado.

Práctica 1: Medida de un radioenlace En esta práctica se miden diversos parámetros que caracterizan los equipos transmisor y receptor de un radioenlace. En concreto, se llevan a cabo:

1. Medidas del duplexor: pérdidas de inserción, aislamiento y ancho de banda;
2. Medida del transmisor: potencia y ancho de banda;
3. Medida del receptor: tasa de bits erróneos y parámetros de calidad relacionados.

La duración planificada para la práctica es de 2 horas.

La práctica utiliza equipos reales de radioenlace (LEDR 400F de Microwave Data Systems o similar), analizador de espectros e instrumentación de medida de la tasa de error, disponibles en el laboratorio.

Práctica 2: Planificación radio El objeto de esta práctica es aprender el funcionamiento de una herramienta informática de planificación radio y afianzar conceptos de propagación y planificación de sistemas de radiocomunicaciones.

La práctica consta de los siguientes puntos:

1. Cálculo de coberturas en entorno rural. Comparación de métodos de cálculo de atenuación.
2. Mejora de la cobertura. Efecto, en función del tipo de entorno (llano o montañoso), de la optimización de la posición de la estación base; de un incremento en la altura de antena; o de un incremento de potencia transmitida.
3. Cálculo de coberturas en entorno urbano. Comparación de métodos de cálculo de atenuación.
4. Modificaciones para el cálculo de cobertura en sentido ascendente.

La duración planificada para la práctica es de 2 horas.

La práctica se desarrolla en el ordenador. Se hace uso del programa Sirenet y de cartografía digital de España, disponibles en el laboratorio.

Práctica 3: Medida de terminales móviles GSM/GPRS Esta práctica consiste en caracterizar la transmisión y recepción de un terminal móvil GSM/GPRS, utilizando un equipo para medida de móviles. Los parámetros medidos no son específicos de las tecnologías GSM o GPRS, sino que corresponden a características generales de un transceptor de radiocomunicaciones. Así, se observan en esta práctica:

1. Espectro de la señal transmitida;
2. Características temporales de la señal transmitida;
3. Tasas de errores de bit y de bloque en el terminal móvil, en función del nivel recibido;
4. Sensibilidad del terminal;
5. Efecto sobre la tasa de error de señales interferentes cocanal y de canal adyacente, en función de la relación portadora/interferencia.

La duración planificada para la práctica es de 2 horas.

La práctica se lleva a cabo por medio del equipo de medida CMU200 de Rohde & Schwarz, generador de señales de radiofrecuencia y diversos terminales móviles comerciales.

Práctica 4: Medidas de cobertura en redes Wi-Fi o móviles En función de la preferencia de cada grupo de alumnos, se realizan medidas de cobertura de la red Wi-Fi de la Escuela o de las redes GSM o UMTS de algún operador, utilizando en cada caso el software y los terminales adecuados.

El objetivo de la práctica es que el alumno se familiarice con el proceso de medida del nivel recibido en el canal piloto, y con diversos aspectos de la propagación, como:

- Las variaciones irregulares del nivel recibido existentes en un entorno real de interiores;
- La disminución brusca de potencia recibida al alejarse los primeros metros del transmisor (esto puede observarse sólo en el caso de redes Wi-Fi);
- El alto grado de solapamiento que típicamente se requiere en la cobertura individual de diferentes estaciones para lograr una cobertura continua de la red;
- Valores típicos de potencia recibida.

La duración planificada para la práctica es de 2 horas.

La práctica se desarrolla con el software de medida Site Survey (redes Wi-Fi) o Romes (redes GSM o UMTS).

Trabajo final de planificación radio El trabajo final, realizado en grupo, consiste en el diseño de una red de radiocomunicaciones basada en alguna tecnología actual. La red corresponderá a alguna de las categorías de sistemas que se describen en *Radiocomunicaciones*, pero la tecnología concreta no tiene por qué haber sido estudiada en la asignatura. Para el trabajo se debe utilizar una herramienta de planificación radio, que puede ser o no la misma utilizada en las prácticas de laboratorio.

Con este trabajo el alumno adquiere conocimientos o afianza los que ha adquirido sobre:

- Etapas que se siguen en una planificación radio simplificada;
- Datos reales de equipos transmisores y receptores de una tecnología concreta;
- Tipo de información contenida en los catálogos de los fabricantes.

En el trabajo se usa la herramienta de planificación radio Sirenet o alguna otra de similares características, a elección de cada grupo de alumnos.

3.6.3. Tabla de contenidos y actividades de aprendizaje (guía de aprendizaje)

La tabla “Contenidos y actividades de aprendizaje” definida en el modelo de guía refleja los contenidos detallados de la asignatura y su relación con resultados de aprendizaje. Para mayor claridad, se muestran dos tablas separadas: la tabla 3.8 se refiere a los contenidos teóricos, y la 3.9 a las prácticas de laboratorio y el trabajo final. En ambas se sigue el formato de la guía de aprendizaje.

Tabla 3.8: Contenidos y actividades de aprendizaje en *Radiocomunicaciones*: parte de teoría

| Capítulo | Apartado | Indicadores relacionados |
|---|--|--------------------------|
| 1. Introducción a las radiocomunicaciones | 1.1 Conceptos generales y definiciones | I1, I9 |
| | 1.2 Parámetros y características de una radiocomunicación | I1 |
| 2. Fundamentos de los enlaces radioeléctricos | 2.1 Caracterización de una antena como transmisora. Campos radiados en espacio libre | I2 |
| | 2.2 Caracterización de una antena como receptora | I2 |
| | 2.3 Modelo energético de un sistema radio | I3 |
| | 2.4 Caracterización del ruido | I3 |
| | 2.5 Interferencia. Sistemas limitados por ruido y por interferencia | I4 |
| 3. Propagación | 3.1 Planteamiento. Tipos de modelos. Mecanismos de propagación | I5 |
| | 3.2 Refracción troposférica | I5 |
| | 3.3 Modelos de Tierra plana y de Tierra curva | I5 |
| | 3.4 Onda de superficie | I5 |
| | 3.5 Difracción. Rec. UIT-R P.526 | I5 |
| | 3.6 Modelo de la Rec. UIT-R P.1546 | I5 |
| | 3.7 Modelo de Okumura-Hata | I5 |
| | 3.8 Atenuación por vegetación, gases atmosféricos y lluvia | I5 |
| | 3.9 Herramientas informáticas de planificación radio | I5, I14 |
| | 3.10 Propagación por onda ionosférica | I5 |
| | 3.11 Desvanecimiento por sombra. Efectos asociados a la propagación multitrayecto | I6 |

Continúa en la página siguiente

Tabla 3.8—continuación

| Capítulo | Apartado | Indicadores relacionados |
|-------------------------------------|---|--------------------------|
| 4. Radioenlaces terrenales | 4.1 Estructura general | I10 |
| | 4.2 Parámetros de un radioenlace | I10 |
| | 4.3 Tipos de desvanecimientos. Diversidad | I10 |
| | 4.4 Calidad y disponibilidad | I10 |
| | 4.5 Cálculos de interferencia | I10 |
| 5. Redes inalámbricas de acceso | 5.1 Terminología. Estándares existentes | I11 |
| | 5.2 Modulación OFDM. | I11 |
| | 5.3 Estándar IEEE 802.11. Descripción general. Variantes | I7, I11 |
| | 5.4 Estándar IEEE 802.16. Descripción general. Aplicaciones | I7, I11 |
| 6. Radiocomunicaciones por satélite | 6.1 Características básicas. Estructura | I12 |
| | 6.2 Geometría del enlace | I12 |
| | 6.3 Balance del enlace. Ruido. Calidad | I12 |
| | 6.4 Ejemplos de sistemas | I12 |
| 7. Radiodifusión | 7.1 Introducción. Bandas de frecuencias | I13 |
| | 7.2 Radiodifusión en AM y FM. Planificación | I8, I13 |
| | 7.3 Redes de frecuencia única basadas en OFDM | I13 |
| | 7.4 Sistema DVB-T. Planificación | I8, I13 |
| | 7.5 Sistema DVB-S. | I8 |

3.7. Sistema de evaluación

3.7.1. Evaluación de los alumnos

Siguiendo la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.3.3), se establecen dos sistemas de evaluación: continua o mediante prueba final, de los cuales el alumno debe elegir uno.

La evaluación continua consta de tres partes:

- Se realizan 3 controles distribuidos a lo largo del periodo lectivo, que cubren la totalidad del temario. Cada control se califica con una nota numérica entre 0 y 10. Sean las notas correspondientes C_1 , C_2 y C_3 . La nota media de controles, C , se obtiene como $(C_1 + C_2 + C_3)/3$.
- El alumno obtiene una nota de prácticas, P , mediante la realización de las mismas y la entrega, dentro de la semana siguiente a la realización de cada

Tabla 3.9: Contenidos y actividades de aprendizaje en *Radiocomunicaciones*: prácticas de laboratorio y trabajo final

| Práctica | Descripción | Indicadores relacionados |
|--|--|--------------------------|
| 1. Medida de un radioenlace | Medidas de espectro, tasa de error y calidad sobre equipos de radioenlace | I5 |
| 2. Planificación radio | Manejo de la herramienta de planificación radio Sirenet y aplicación de conceptos básicos de planificación | I14 |
| 3. Medida de terminales móviles GSM/GPRS | Caracterización de parámetros radio de terminal móvil mediante medidor CMU200 | I5 |
| 4. Medidas de cobertura en redes Wi-Fi o móviles | Observación y medidas de cobertura de una red Wi-Fi mediante ordenador portátil con software Site Survey; o de una red GSM o UMTS mediante terminal móvil y software Romes | I5 |
| 5. Trabajo final de planificación radio | Planificación de una red de radiocomunicación con herramienta Sirenet, Xirio-online o similar | I16, I17 |

práctica, de una memoria descriptiva del trabajo realizado. Cada memoria de evalúa con una nota P_1, \dots, P_4 comprendida entre 0 y 10, y P se obtiene como la media de estas notas: $P = (P_1 + \dots + P_4)/4$.

- El trabajo final se presenta y se entrega la última semana de la asignatura, y se evalúa con una nota T .

La nota final de la asignatura se obtiene como $0,5C + 0,3P + 0,2T$, siempre que C , P y T sean iguales o superiores a 4.

Los controles de evaluación continua constan de una primera parte que se realiza sin libros ni apuntes, con preguntas cortas sobre conceptos básicos de la asignatura, y de una segunda parte con problemas más largos, para resolver con libros y apuntes. Los problemas o los apartados de los mismos tendrán dificultad diversa, para poder discriminar el grado de conocimiento de los alumnos.

La evaluación mediante prueba final consta de dos partes:

- Examen final de la asignatura, que se califica con una nota E .
- Nota de prácticas, P , obtenida mediante el mismo procedimiento que para los alumnos de evaluación continua.

La nota final de la asignatura se obtiene en este caso como $0,65E + 0,35P$, siempre que E y P sean iguales o superiores a 4.

El examen final está formado por dos partes, con características similares a las descritas en el caso de evaluación continua, aunque de mayor duración.

La asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria para todos los alumnos. Esta exigencia está en consonancia con la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.3.3), que establece que la evaluación mediante prueba final puede incluir exámenes y actividades de evaluación global de la asignatura, y que se puede exigir la asistencia del estudiante a lo largo del curso a actividades de evaluación que estén relacionadas con resultados de aprendizaje de difícil calificación en una prueba final; tal es el caso de las prácticas de laboratorio previstas en la asignatura.

Se ha decidido que no haya examen final en la modalidad de evaluación continua; la normativa de la Universidad Politécnica de Madrid deja libertad en este sentido (§1.3.3). En esta modalidad de evaluación, el peso relativo del examen respecto a las prácticas se ha incrementado ligeramente en comparación con el que tienen los controles en la evaluación continua (0,65/0,35 frente a 0,5/0,3).

3.7.2. Evaluación del profesor

La evaluación del profesor se realiza por parte de los alumnos poco antes de finalizar el curso, por medio de encuestas anónimas que rellenan en clase. Las encuestas siguen el modelo definido recientemente por la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.5.2). Dicha evaluación permite corregir aspectos de la asignatura y mejorar la actuación en el curso siguiente.

El modelo de encuesta se reproduce en el Anexo §D.

3.7.3. Tablas de evaluación sumativa y criterios de calificación (guía de aprendizaje)

Las tablas 3.10 y 3.11 resumen los criterios de evaluación presentados en §3.7.1, siguiendo el formato de las tablas “Evaluación sumativa” y “Criterios de calificación” de la guía de aprendizaje.

3.8. Cronograma de trabajo de la asignatura

El cronograma de trabajo refleja la organización temporal de los contenidos, actividades de aprendizaje dentro y fuera del aula y actividades de evaluación.

De acuerdo con las recomendaciones de la Universidad Politécnica de Madrid para la elaboración de la guía de aprendizaje, resumidas en §1.3.4, el cronograma

Tabla 3.10: Evaluación sumativa en *Radiocomunicaciones*

| Actividades evaluables | Momento | Lugar | Peso |
|---------------------------------|-----------------|-------------|--------|
| Control parcial 1 | Semana 5 | Aula | 16,7 % |
| Control parcial 2 | Semana 10 | Aula | 16,7 % |
| Control parcial 3 | Semana 14 | Aula | 16,7 % |
| Práctica: realización y entrega | Semanas 4 y 5 | Laboratorio | 7,5 % |
| Práctica: realización y entrega | Semanas 7 y 8 | Laboratorio | 7,5 % |
| Práctica: realización y entrega | Semanas 10 y 11 | Laboratorio | 7,5 % |
| Práctica: realización y entrega | Semanas 12 y 13 | Laboratorio | 7,5 % |
| Trabajo final: entrega | Semana 15 | Aula | 20 % |

Tabla 3.11: Criterios de calificación en *Radiocomunicaciones*

| Criterios de calificación |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ En convocatoria ordinaria los alumnos serán evaluados, por defecto, mediante evaluación continua. La calificación de la asignatura se obtendrá del siguiente modo: Nota final = 50 % Nota media de controles + 30 % Nota media de prácticas + 20 % Nota de trabajo final, siempre que las tres componentes sean mayores o iguales a 4. ■ La asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria. ■ En cumplimiento de la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid, los alumnos que lo deseen serán evaluados mediante un único examen final siempre y cuando lo comuniquen al Director del Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones mediante solicitud presentada en el registro de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación antes del 15 de octubre del año en curso. Esta opción supone la renuncia a la evaluación continua. ■ En convocatoria extraordinaria, o en convocatoria ordinaria con evaluación mediante prueba final, la calificación de la asignatura será: Nota final = 65 % Nota del examen final + 35 % Nota media de prácticas, siempre que las dos componentes sean mayores o iguales a 4. |

se estructura en unidades de una semana. Siguiendo las citadas recomendaciones, pueden considerarse en torno a 16 ó 17 semanas lectivas por semestre. Descontando fiestas y periodos de vacaciones, para la organización temporal de *Radio-comunicaciones* se han utilizado 15 semanas efectivas, con 4 horas de aula o laboratorio por semana. El total de 60 horas se ha repartido en 45 horas de aula, 8 horas de prácticas de laboratorio, 3 para pruebas de evaluación, 2 horas libres para facilitar la realización del trabajo final en grupo y 2 para su presentación.

3.8.1. Organización de los contenidos teóricos

Para cada uno de los capítulos se ha considerado el siguiente tiempo de clase, en el que se incluyen las diferentes técnicas usadas en el aula, en particular la realización de problemas y las demostraciones directas.

- Presentación de la asignatura: 1 hora;
- Capítulo 1: Introducción a las radiocomunicaciones: 2 horas;
- Capítulo 2: Fundamentos de los enlaces radioeléctricos: 8 horas;
- Capítulo 3: Propagación: 12 horas;
- Capítulo 4: Radioenlaces terrenales: 5 horas;
- Capítulo 5: Redes inalámbricas de acceso: 7 horas;
- Capítulo 6: Radiocomunicaciones por satélite: 4 horas;
- Capítulo 7: Radiodifusión: 6 horas.

3.8.2. Organización de las prácticas de laboratorio

Se dispone de 2 puestos de trabajo para las prácticas 1 (medida de radioenlace), 3 (medida de terminales móviles GSM/GPRS) y 4 (medidas de cobertura en redes Wi-Fi o móviles). Para la práctica 2 (planificación radio) puede contarse con un número más elevado de puestos, ya que la empresa que desarrolla la herramienta Sirenet, utilizada en la práctica, puede proporcionar un número mayor de licencias para uso docente con coste reducido. No obstante, la limitación de equipamiento para las otras prácticas lleva a la necesidad de aplicar rotaciones en el orden de las mismas, de modo que no todos los alumnos realicen simultáneamente la misma práctica.

Las rotaciones tienen el inconveniente de que las prácticas no siempre pueden realizarse después de haber visto en las clases de teoría los conceptos relacionados. Para solventar esta dificultad se utilizan las siguientes medidas:

- El guión de la práctica debe ser suficientemente explicativo, y debe incluir una introducción teórica de los conceptos necesarios.
- El alumno debe dedicar tiempo a la preparación de la práctica, leyendo el guión antes de acudir al laboratorio.
- El profesor puede comprobar que se ha comprendido la introducción teórica el día de la práctica, y en su caso aclarar los conceptos necesarios.

Las prácticas se organizan en sesiones de 2 horas cada una, y se realizan en grupos de 2 ó 3 alumnos, preferiblemente.

3.8.3. Organización del trabajo final

El trabajo final se realiza en grupos de 4–6 alumnos.

Dado que la elección de la herramienta de planificación radio utilizada para el trabajo final es libre, y que además, para los grupos que usen Sirenet, puede disponerse de un número considerable de licencias de esta herramienta, no se prevén problemas por limitación de puestos.

3.8.4. Correspondencia entre créditos ECTS y horas de trabajo

Se estiman 27 horas de dedicación del alumno por cada crédito ECTS, de acuerdo con las indicaciones del Plan de Estudios (véase §1.3.2) y con el modelo de guía de aprendizaje de la Universidad Politécnica de Madrid [21].

3.8.5. Cronograma de trabajo (guía de aprendizaje)

Teniendo en cuenta lo anterior, y siguiendo el formato de la guía de aprendizaje, se ha elaborado el cronograma que se muestra en la tabla 3.12, en el que se recogen las diferentes actividades y la dedicación en horas que supone cada una para el alumno. Esta información corresponde a la tabla “Cronograma de trabajo de la asignatura” de la guía.

En el trabajo individual se contempla el estudio del material impartido, realización de problemas, preparación de las prácticas y parte del trabajo final. Se ha considerado un ligero incremento del tiempo de estudio y realización de problemas en las fechas próximas a los controles de evaluación continua.

En el trabajo en grupo se consideran la elaboración de las memorias de prácticas y parte del trabajo final.

3.8. CRONOGRAMA DE TRABAJO DE LA ASIGNATURA

Tabla 3.12: Cronograma de la asignatura *Radiocomunicaciones*

| Semana | Activ. aula | Activ. laboratorio | Trabajo individual | Trabajo en grupo | Activ. evaluación |
|----------|---|--------------------|--|---|-------------------|
| 1 (10h) | Presentación (1h). Capítulo 1 (2h). Capítulo 2 (1h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 2 (10h) | Capítulo 2 (4h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 3 (10h) | Capítulo 2 (3h). Capítulo 3 (1h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 4 (12h) | Capítulo 3 (2h) | Práctica (2h) | Estudio, problemas (6h). Preparación de práctica (2h) | | |
| 5 (12h) | Capítulo 3 (3h) | | Estudio, problemas (7h) | Memoria de práctica (1h) | Control 1 (1h) |
| 6 (10h) | Capítulo 3 (4h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 7 (10h) | Capítulo 3 (2h) | Práctica (2h) | Estudio, problemas (4h). Preparación de práctica (2h) | | |
| 8 (10h) | Capítulo 4 (4h) | | Estudio, problemas (5h) | Memoria de práctica (1h) | |
| 9 (12h) | Capítulo 4 (1h). Capítulo 5 (3h) | | Estudio, problemas (8h) | | |
| 10 (12h) | Capítulo 5 (1h) | Práctica (2h) | Estudio, problemas (6h). Preparación de práctica (2h) | | Control 2 (1h) |
| 11 (10h) | Capítulo 5 (3h). Capítulo 6 (1h) | | Estudio, problemas (5h) | Memoria de práctica (1h) | |
| 12 (10h) | Capítulo 6 (2h) | Práctica (2h) | Estudio, problemas (4h). Preparación de práctica (2h) | | |
| 13 (12h) | Capítulo 6 (1h). Capítulo 7 (3h) | | Estudio, problemas (6h) | Memoria de práctica (1h). Trabajo final (1h) | |
| 14 (12h) | Capítulo 7 (3h) | | Estudio, problemas (6h) | Trabajo final (2h) | Control 3 (1h) |
| 15 (10h) | Trabajo final (2h) | | Trabajo final (4h) | Trabajo final (4h) | |

3.9. Recursos didácticos

Para el aprendizaje es esencial, además de la acción en el aula, el acceso a la bibliografía adecuada. Dentro de las referencias que se pueden utilizar como fuentes de conocimiento se encuentran los libros, artículos en revistas especializadas y en congresos, publicaciones de organismos de estandarización y páginas web de diversas organizaciones.

La bibliografía recomendada para *Radiocomunicaciones* se detalla a continuación, clasificada en los siguientes grupos:

- Básica: textos que contienen la mayor parte del material correspondiente a la asignatura, con un nivel adecuado a la misma.
- De ampliación: referencias para ampliar el conocimiento sobre ciertos aspectos de la asignatura, seleccionadas por su importancia o por su carácter didáctico.
- De apoyo: referencias útiles para reforzar conocimientos fundamentales, que no pertenecen a la asignatura pero que son necesarios para el aprendizaje de la misma.
- Otras fuentes, como por ejemplo información publicada por empresas del ámbito de la asignatura, organizaciones internacionales o software de planificación radio.

Para cada referencia se incluyen comentarios sobre sus características más destacables y su idoneidad para la asignatura. Todos los comentarios se basan en opiniones del candidato.

Bibliografía básica El texto que se considera más adecuado para la asignatura es el de José María Hernando [31]:

José María Hernando. *Transmisión por Radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces, sexta edición, 2008.

Este libro constituye una referencia clásica en la materia, y cubre todos los contenidos de la asignatura. Es un magnífico libro que destaca por la gran cantidad de material que abarca y por su carácter práctico, que hacen de él la referencia básica en castellano en materia de radiocomunicación. La sexta edición está actualizada con las nuevas versiones de Recomendaciones de la UIT, e incluye la descripción de tecnologías recientes como IEEE 802.11 (Wi-Fi) e IEEE 802.16 (WiMAX).

Como recomendación general, el alumno puede utilizar este libro como texto, ya que abarca toda la asignatura. En algún punto concreto en que sea conveniente ampliar algún contenido se proporcionará material al alumno, en forma de artículos, documentos de la UIT o información de fabricantes.

Bibliografía de ampliación Se indican a continuación referencias para ampliación o profundización en determinados aspectos de la asignatura. Se consideran sólo los aspectos directamente relacionados con *Radiocomunicaciones*. Quedan excluidas las materias que se estudian con mayor profundidad en otras asignaturas (como por ejemplo las comunicaciones móviles o el diseño de antenas).

- Sobre caracterización del canal y modelos de propagación [32]:

J. D. Parsons. *The Mobile Radio Propagation Channel*. John Wiley & Sons, segunda edición, 2000.

Este libro estudia la propagación radio desde el punto de vista de la caracterización del canal multitrayecto y de la pérdida básica de propagación. Aunque se centra en aplicaciones para comunicaciones móviles, los modelos descritos son aplicables a radiocomunicaciones en general.

- Sobre OFDM y su utilización en sistemas de radiocomunicaciones [33]:

Richard van Nee y Ramjee Prasad. *OFDM Wireless Multimedia Communications*. Artech House, 2000.

Presenta los principios básicos de la OFDM y sus ventajas en relación con la propagación multitrayecto. Discute también algunas de las particularidades de este tipo de modulación, como el problema de la relación potencia de pico a potencia media en OFDM y la posibilidad de utilizar OFDMA. Por último, presenta algunos ejemplos de sistemas que utilizan OFDM.

- Sobre la tecnología de redes locales inalámbricas y su desarrollo [34]:

Asunción Santamaría y Francisco J. López-Hernández (editores). *Wireless LAN Standards and Applications*. Artech House, 2001.

Describe el funcionamiento de las redes locales inalámbricas y las primeras versiones del estándar IEEE 802.11, entre otros sistemas.

- Sobre comunicaciones por satélite [35]:

Giovanni E. Corazza (editor). *Digital Satellite Communications*. Springer, 2007.

Presenta los principios de funcionamiento de los sistemas de comunicaciones por satélite con un enfoque moderno.

En algunos casos resulta especialmente recomendable acudir a artículos clásicos, bien por su valor histórico o por la claridad de la exposición:

- Sobre el modelo de Okumura-Hata [36]:

Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano y K. Fukuda. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service. *Review of the Electrical Communication Laboratory*, 16:825–873, septiembre-octubre 1968.

Éste es el artículo que introduce el modelo de Okumura, por medio de una serie de curvas obtenidas a partir de medidas realizadas en Tokio. Este modelo fue posteriormente convertido en una serie de fórmulas por Hata, dando lugar al modelo de Okumura-Hata.

- Sobre el concepto de satélites geoestacionarios utilizados para radiocomunicaciones [37]:

Arthur C. Clarke. Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage? *Wireless World*, págs. 305–308, octubre 1945.

En este artículo se introduce la idea emplear satélites artificiales como repetidores de comunicaciones, y en particular utilizando la órbita geoestacionaria.

- Sobre el concepto de OFDM, la necesidad de uso conjunto de codificación de canal y sus ventajas en canales multitrayecto y redes de frecuencia única [38]:

J. H. Stott. Explaining Some of the Magic of COFDM. En *Proceedings of 20th International Television Symposium*, junio 1997.

Presenta una descripción muy didáctica de los principios de funcionamiento de la modulación OFDM junto con técnicas de codificación de canal para corrección de errores. La explicación permite comprender las ventajas de este tipo de transmisión en canales con dispersión temporal, ya sea producida por la propagación multitrayecto o por el uso de redes de frecuencia única.

Bibliografía de apoyo Para repaso de fundamentos de radiación y caracterización de antenas se recomienda la siguiente referencia:

Ángel Cardama Aznar, Lluís Jofre Roca, Juan Manuel Rius Casals, Jordi Romeu Robert y Sebastián Blanch Boris. *Antenas*. Edicions UPC, segunda edición, 2002.

Para los conceptos de teoría de la probabilidad necesarios en la asignatura puede consultarse:

Athanasios Papoulis y S. Unnikrishna Pillai. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2002.

Sobre conceptos básicos de modulaciones digitales y codificación de canal se recomienda:

Bernard Sklar. *Digital Communications. Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, 1988.

Para un análisis más detallado y riguroso de estos temas una referencia muy adecuada es:

John G. Proakis. *Digital Communications*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2001.

Otras fuentes Dado que muchos sistemas de radiocomunicaciones se basan en especificaciones estandarizadas, puede profundizarse en aspectos concretos de su funcionamiento recurriendo a los documentos de especificación. Por ejemplo, se indican a continuación algunos sistemas y sus correspondientes organismos:

- Estándares IEEE 802.11 y 802.16. Puede accederse a las especificaciones en la dirección de Internet <http://ieeexplore.ieee.org>.
- Sistemas de difusión de vídeo DVB, estandarizados por el ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*). Las especificaciones son de libre acceso y pueden encontrarse en la dirección de Internet <http://www.etsi.org>.

Existen numerosas herramientas de planificación radio de propósito general, entre las que pueden destacarse las siguientes.

- Sirenet, desarrollada por Aptica. <http://www.aptica.es>.
- Xirio-online, desarrollada por Aptica. <http://www.xirio-online.com>.
- ICS Telecom, desarrollada por ATDI. <http://www.atdi.com>.

Los dos primeros permiten el uso sin licencia, con alguna limitación en su funcionamiento. Xirio-online, como ventaja adicional, se ejecuta en un servidor remoto y por tanto no requiere instalación.

Tabla 3.13: Recursos bibliográficos en *Radiocomunicaciones*

| | |
|--------------|--|
| Bibliografía | José María Hernando. <i>Transmisión por Radio</i> . Editorial Universitaria Ramón Areces, sexta edición, 2008. |
| | J. D. Parsons. <i>The Mobile Radio Propagation Channel</i> . John Wiley & Sons, segunda edición, 2000. |
| | Richard van Nee y Ramjee Prasad. <i>OFDM Wireless Multimedia Communications</i> . Artech House, 2000. |
| | Giovanni E. Corazza (editor). <i>Digital Satellite Communications</i> . Springer, 2007. |
| Recursos web | Página web de la asignatura: http://www.grc.ssr.upm.es |
| | Plataforma Moodle: http://moodle.upm.es |
| Equipamiento | Laboratorio |
| | Aula: la asignada por Jefatura de Estudios |
| | Sala de trabajo en grupo: laboratorio |

3.9.1. Tabla de recursos didácticos (guía de aprendizaje)

De acuerdo con lo anterior, la tabla “Recursos didácticos” de la guía de aprendizaje queda como se muestra en la tabla 3.13.

Capítulo 4

Programación de la asignatura *Comunicaciones Móviles*

En este capítulo se presenta la programación docente de la asignatura *Comunicaciones Móviles*, en el marco del Plan de Estudios 2010. En primer lugar se describe la estructura del capítulo (§4.1), relacionándola con los apartados de la guía de aprendizaje para el estudiante definida por la Universidad Politécnica de Madrid. La estructura es similar a la del capítulo anterior, y se concreta en los siguientes apartados: información general de la asignatura (§4.2); delimitación respecto a las demás del plan de estudios (§4.3), objetivos de la asignatura (§4.4), metodología (§4.5), planificación de los contenidos (§4.6), evaluación (§4.7), cronograma de trabajo (§4.8) y recursos didácticos (§4.9). En cada apartado se presenta una discusión general, a partir de la cual se elaboran los apartados correspondientes de la guía de aprendizaje.

4.1. Introducción

La estructura de este capítulo es paralela a la del §3. Como allí, para facilitar la presentación, se modifica ligeramente el orden de exposición respecto al modelo de guía de aprendizaje de la Universidad Politécnica de Madrid. La organización que se va a seguir para describir la programación de la asignatura *Comunicaciones Móviles*, y la correspondencia con las diferentes tablas de la guía de aprendizaje, son las que se indican a continuación:

- Información general sobre la asignatura: tablas “Datos descriptivos” y “Profesorado” de la guía de aprendizaje.

- Delimitación de la asignatura en relación con las demás del Plan de Estudios: tabla “Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad la asignatura” de la guía.
- Objetivos: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro: tablas “Competencias asignadas a la asignatura y nivel de adquisición”, “Resultados de aprendizaje de la asignatura” e “Indicadores de logro”.
- Metodología: tabla “Modalidades organizativas utilizadas y métodos de enseñanza empleados”.
- Planificación de contenidos: tabla “Contenidos y actividades de aprendizaje”.
- Sistema de evaluación: tablas “Evaluación sumativa” y “Criterios de calificación”.
- Cronograma de la asignatura: tabla “Cronograma de trabajo de la asignatura”.
- Recursos didácticos: tabla “Recursos didácticos” de la guía de aprendizaje.

En cada uno de estos apartados se discuten en primer lugar los aspectos relevantes de la programación, y después se elaboran, como resultado de lo anterior, las tablas correspondientes de la guía de aprendizaje (salvo en el primer apartado, en el que no es necesaria la discusión).

Una vez hecha la programación de la asignatura para el Plan de Estudios 2010, se incluyen algunas indicaciones sobre su adaptación al Plan de Estudios 1994.

4.2. Información general sobre la asignatura

4.2.1. Datos descriptivos (guía de aprendizaje)

Los datos generales de la asignatura vienen definidos por el Plan de Estudios, y son los mostrados en la tabla 4.1, que corresponde a la tabla “Datos descriptivos” de la guía de aprendizaje. El curso académico considerado es el primero en que se impartirá la asignatura.

4.2.2. Profesorado (guía de aprendizaje)

Igual que se hizo en *Radiocomunicaciones*, en lo relativo a datos de profesorado se considera la situación actual de la asignatura homónima del Plan 1994, bien entendido que estos datos pueden variar. La información se muestra en la tabla 4.2, correspondiente a la denominada “Profesorado” en la guía de aprendizaje.

4.3. DELIMITACIÓN DE LA ASIGNATURA

Tabla 4.1: Datos descriptivos de *Comunicaciones Móviles*

| | |
|----------------------------|--|
| Asignatura | Comunicaciones Móviles |
| Materia | M9: Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación |
| Departamento responsable | Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones |
| Créditos ECTS | 6 |
| Carácter | Obligatoria de itinerario |
| Titulación | Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación |
| Curso | Cuarto |
| Especialidad | Itinerario en Sistemas de Telecomunicación |
| Curso académico | 2013–14 |
| Semestre en que se imparte | Primero |
| Idioma en que se imparte | Castellano |
| Página web | http://www.grc.ssr.upm.es http://moodle.upm.es |

Tabla 4.2: Profesorado de *Comunicaciones Móviles*

| Nombre y apellidos | Despacho | Correo electrónico |
|---------------------------|----------|--|
| Luis Mendo Tomás (coord.) | C-425 | lmendo@grc.ssr.upm.es |

4.3. Delimitación de la asignatura respecto a las demás del plan de estudios

El Plan de Estudios 2010 establece la siguiente descripción del contenido de *Comunicaciones Móviles*:

Introducción a los sistemas de comunicaciones móviles. Dimensionamiento y teoría celular clásica en comunicaciones móviles. Modelos de propagación para canales móviles. Sistemas GSM y GPRS. Sistemas PMR y PAMR. Multiacceso CDMA. Sistemas UMTS y HSPA. Evolución a 4G. Prácticas de laboratorio.

Debido al carácter especializado de esta asignatura, su delimitación respecto a las demás del Plan de Estudios es relativamente sencilla. Por los motivos indicados en §4.3 (no se han publicado aún guías de aprendizaje para asignaturas de cursos superiores a primero), para detectar dependencias con otras asignaturas y delimitar el contenido de *Comunicaciones Móviles* se van a utilizar únicamente

las descripciones que aparecen en el Plan de Estudios. El Anexo §C recoge estas descripciones para las asignaturas con las que *Comunicaciones Móviles* tiene relación.

Asignaturas de las que depende *Comunicaciones Móviles* De las descripciones que aparecen en el Plan de Estudios 2010 se desprende que *Comunicaciones Móviles* se basa en los siguientes conceptos impartidos en otras asignaturas:

- Caracterización de sistemas lineales invariantes mediante respuesta al impulso y mediante transformada de Fourier: en la asignatura *Señales y Sistemas*, impartida en segundo curso, primer semestre.
- Conceptos de teoría de la probabilidad, variables aleatorias y procesos estocásticos: en la asignatura *Señales Aleatorias*, impartida en segundo curso, primer semestre.
- Elementos de un sistema digital de comunicación, incluyendo modulación, codificación de canal y entrelazado: en la asignatura *Teoría de la Comunicación*, impartida en segundo curso, segundo semestre.
- Nociones básicas de teoría de colas: en *Redes y Servicios de Telecomunicación*, troncal, impartida en segundo curso, segundo semestre.
- Manejo de analizador de espectros: en *Electrónica de Comunicaciones*, impartida en tercer curso, segundo semestre.
- Caracterización y prestaciones de modulaciones digitales y codificación de canal: en *Comunicaciones Digitales/Transmisión Digital*, impartida en cuarto curso, primer semestre.
- Conceptos de radiocomunicaciones: en *Radiocomunicaciones*, impartida en cuarto curso, primer semestre.

La asignatura *Comunicaciones Móviles* se imparte en cuarto curso, primer semestre. Todas las asignaturas de las que depende excepto *Comunicaciones Digitales/Transmisión Digital* y *Radiocomunicaciones* se imparten con anterioridad.

Igual que sucedía en relación con *Radiocomunicaciones* (véase §3.3), se echa en falta en el Plan de Estudios la inclusión, en alguna asignatura, de una descripción y análisis detallados de las técnicas de codificación de canal mediante códigos convolucionales y códigos turbo. Esta posible carencia es aún más importante en *Comunicaciones Móviles*, ya que la variabilidad del canal de propagación confiere una mayor importancia a la codificación de canal, hasta el punto de que su comportamiento condiciona en buena media el funcionamiento y las prestaciones de los sistemas.

Asignaturas que dependen de *Comunicaciones Móviles* Por las características de la asignatura, y teniendo en cuenta que se imparte en el primer semestre de cuarto curso, hay pocas asignaturas que dependan de ésta. Se ha detectado únicamente la siguiente dependencia:

- Radiolocalización en sistemas de telefonía móvil: concepto desarrollado en *Sistemas de Radiodeterminación*, impartida en cuarto curso, segundo semestre.

Asignaturas con las que existe posibilidad de solapamiento Existe posibilidad de solapamiento con la asignatura *Radiocomunicaciones* en los siguientes puntos, los cuales ya fueron identificados en §3.3:

- Modelos de propagación utilizados en comunicaciones móviles que también tienen aplicación en otros sistemas de radiocomunicaciones: modelo de Tierra plana, difracción, modelo de Okumura-Hata.
- Conceptos básicos de sistemas de radiocomunicaciones móviles.

Por otro lado, deben considerarse también posibles solapamientos con la asignatura *Redes y Servicios de Telecomunicación*, que incluye en su descripción:

- Conmutación en redes.
- Casos de estudio, incluyendo GSM y UMTS.

Contenido de *Comunicaciones Móviles* Teniendo en cuenta la descripción que el Plan de Estudios hace de *Comunicaciones Móviles* y las dependencias identificadas, el contenido de la asignatura queda delimitado como sigue:

- Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Interfaz radio.
- Propagación en comunicaciones móviles. Multitrayecto.
- Sistemas celulares FDMA/TDMA. Dimensionamiento.
- Sistemas celulares CDMA. Capacidad.
- Evolución de los sistemas de Tercera Generación.
- Descripción y planificación de sistemas de comunicaciones móviles: GSM, GPRS, PMR, PAMR, UMTS, HSPA, LTE.

Tabla 4.3: Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad *Comunicaciones Móviles*

| | |
|---------------------------------|--|
| Asignaturas superadas | <i>Señales Aleatorias</i> |
| | <i>Teoría de la Comunicación</i> |
| | <i>Redes y Servicios de Telecomunicación</i> |
| | <i>Radiocomunicaciones</i> |
| Otros resultados de aprendizaje | — |

De acuerdo con lo que se indica en el Plan, la asignatura se centra en la interfaz radio de los sistemas de comunicaciones móviles. Esto es coherente con el hecho de que la interfaz radio es la parte que más determina y limita el funcionamiento de este tipo de sistemas, y que les confiere sus características distintivas. Por otro lado, los conceptos de red en sistemas comunicaciones móviles se tratan en otras asignaturas, especialmente *Redes y Servicios de Telecomunicación*. El posible solapamiento con esa asignatura queda así resuelto, ya que *Comunicaciones Móviles* se ocupa principalmente de la interfaz radio, y sobre la red trata únicamente conceptos muy básicos.

Algunos conceptos generales sobre comunicaciones móviles, comunes a otros sistemas de radiocomunicaciones, se tratan en *Radiocomunicaciones*, en particular los puntos identificados como de posible solapamiento entre ambas asignaturas (véase §3.3). Por tanto estos conceptos no se incluyen en *Comunicaciones Móviles*, en principio; no obstante, puede ser útil recordarlos brevemente.

4.3.1. Tabla de conocimientos previos requeridos (guía de aprendizaje)

De acuerdo con lo anterior, se muestran en la tabla 4.3 los conocimientos previos requeridos para *Comunicaciones Móviles*, con el formato de la guía de aprendizaje, y en particular de la tabla allí denominada “Conocimientos previos requeridos para poder seguir con normalidad la asignatura”. Las asignaturas reflejadas en la tabla son aquéllas cuya superación previa se considera *imprescindible*; y son, por tanto, un subconjunto de las identificadas anteriormente.

4.4. Objetivos de la asignatura: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro

La definición de objetivos se lleva a cabo en los tres niveles de la guía de aprendizaje: competencias, resultados de aprendizaje e indicadores de logro.

4.4.1. Competencias del Plan de Estudios a cuya adquisición contribuye la asignatura

Las competencias del título a las que en principio podría contribuir *Comunicaciones Móviles* son (como en el caso de *Radiocomunicaciones*) las siguientes:

- Competencias generales del título;
- Competencias comunes a la rama de telecomunicación;
- Competencias específicas de la materia “Tecnología Específica de Sistemas de Telecomunicación”, a la cual pertenece la asignatura.

Las definiciones de estas competencias se incluyen en el Anexo §B.

Las competencias asignadas a *Comunicaciones Móviles* se determinan a partir de la descripción de la asignatura según el Plan de Estudios. La lista resultante es muy parecida a la de *Radiocomunicaciones*, lo cual se explica por la similitud existente entre las materias que abarcan. Se indican a continuación las competencias y su nivel de adquisición, utilizando una escala numérica de 1 a 3, en la que los números corresponden respectivamente a “básico”, “medio” o “avanzado”.

- Competencias generales:
 - CG1–13, con nivel 1. Se considera que todas las asignaturas del Plan de Estudios contribuyen en mayor o menor medida a la consecución de las competencias generales del título.
- Competencias comunes a la rama de telecomunicación:
 - CECT1–6, con nivel 1. Se trata de competencias de carácter generalista, a cuya adquisición contribuye en parte la asignatura.
 - CECT8, con nivel 3. Esta competencia se refiere a la “capacidad para comprender mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas ...”.
 - CECT12, con nivel 2. “Conocimiento y utilización de los conceptos de arquitectura de red, protocolos e interfaces de comunicaciones”.
 - CECT13, con nivel 2. Hace referencia, entre otros aspectos, a la “capacidad de diferenciar los conceptos de ... redes fijas y móviles”.
 - CECT15, con nivel 1. “Conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional”.
- Competencias específicas a la rama de telecomunicación:

- CE-ST1, con nivel 3. Esta competencia incluye, entre otras capacidades, la de “construir, explotar y gestionar las redes y servicios de telecomunicaciones ... desde el punto de vista de los sistemas de transmisión”.
- CE-ST2, con nivel 3. Se incluye en esta competencia la “capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes ... tanto en entornos fijos como móviles, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión”.
- CE-ST5, con nivel 2. “Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas ... y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias”.

4.4.2. Tabla de competencias y su nivel de adquisición (guía de aprendizaje)

En la tabla 4.4 se recogen, siguiendo el formato marcado por la guía de aprendizaje, las competencias a las que contribuye *Comunicaciones Móviles*. Esta tabla corresponde a la denominada “Competencias asignadas a la asignatura y nivel de adquisición” en la guía.

4.4.3. Resultados de aprendizaje

Debido a las razones indicadas en §2.1.3, los objetivos generales de la asignatura corresponden a los dominios cognitivo y afectivo, si bien predominan los del cognitivo. Dichos objetivos generales corresponden a los resultados de aprendizaje definidos por el modelo de guía de aprendizaje de la Universidad Politécnica de Madrid.

De acuerdo con la descripción del Plan de Estudios, el fin principal de la asignatura *Comunicaciones Móviles* debe ser proporcionar al alumno conocimientos y habilidades sobre los fundamentos y métodos de planificación de los sistemas de comunicaciones móviles, así como sobre el funcionamiento de tecnologías o estándares concretos de comunicaciones móviles, con un enfoque centrado en la interfaz radio.

Es conveniente contribuir también al desarrollo de otras habilidades, como las capacidades de aprendizaje autónomo y de comunicación. Igual que en el caso de *Radiocomunicaciones*, estos fines son secundarios respecto al indicado en el párrafo anterior, el cual se deriva del Plan de Estudios.

Teniendo en cuenta estos fines, así como la delimitación de los contenidos de la asignatura realizada en §4.3, se indican a continuación los resultados de apren-

4.4. OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA

Tabla 4.4: Competencias asignadas a *Comunicaciones Móviles* y nivel de adquisición

| Código | Competencia | Nivel |
|---------|---|-------|
| CG1–13 | Todas las asignaturas del Plan de Estudios contribuyen en mayor o menor medida a la consecución de las competencias generales del perfil del título | 1 |
| CECT1–6 | Competencias de carácter generalista, a cuya adquisición contribuye en parte la asignatura | 1 |
| CECT8 | Capacidad para comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores | 3 |
| CECT12 | Conocimiento y utilización de los conceptos de arquitectura de red, protocolos e interfaces de comunicaciones | 2 |
| CECT13 | Capacidad de diferenciar los conceptos de redes de acceso y transporte, redes de conmutación de circuitos y de paquetes, redes fijas y móviles, así como los sistemas y aplicaciones de red distribuidos, servicios de voz, datos, audio, vídeo y servicios interactivos y multimedia | 2 |
| CECT15 | Conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional | 1 |
| CE-ST1 | Capacidad para construir, explotar y gestionar las redes, servicios, procesos y aplicaciones de telecomunicaciones, entendidas éstas como sistemas de captación, transporte, representación, procesado, almacenamiento, gestión y presentación de información multimedia, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión | 3 |
| CE-ST2 | Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión | 3 |
| CE-ST5 | Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias | 2 |

dizaje de *Comunicaciones Móviles*. Se utiliza para ello la taxonomía de Bloom, descrita en §2.1.2.

Resultados de aprendizaje en el dominio cognitivo Son los objetivos fundamentales de la asignatura. Se corresponden con el fin principal de la misma, que es proporcionar al alumno conocimientos y habilidades sobre los fundamentos, métodos de planificación y tecnologías estandarizadas en los sistemas de comunicaciones móviles, principalmente en lo que se refiere a la interfaz radio. Se establecen los siguientes.

- Comprender los fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles.
- Comprender el funcionamiento de la interfaz radio de los sistemas de comunicaciones móviles.
- Conocer las características de la propagación de ondas de radio en comunicaciones móviles y su impacto sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas.
- Comprender el funcionamiento de las diferentes modalidades de redes celulares.
- Conocer las especificaciones y el funcionamiento de los sistemas más representativos de Segunda Generación, Tercera Generación y evolución de Tercera Generación.
- Ser capaz de realizar la planificación radio de una red de comunicaciones móviles, teniendo en cuenta aspectos de cobertura y de capacidad.
- Conocer el funcionamiento general de herramientas informáticas de planificación radio para comunicaciones móviles, y tener destreza en el manejo de alguna.
- Conocer el funcionamiento general de herramientas de medida de la interfaz radio en sistemas de comunicaciones móviles.

Resultados de aprendizaje del dominio afectivo Es deseable, como se ha indicado, que el alumno adquiera ciertas habilidades y actitudes de índole más general. Éstas se concretan en los siguientes resultados de aprendizaje.

- Ser capaz de aprender de forma autónoma.
- Tener creatividad en los aspectos técnicos relacionados con la asignatura.

- Ser capaz de comunicarse de forma efectiva.

Estos objetivos son comunes a los que pueden plantearse en otras asignaturas del Plan de Estudios, que también contribuirán en este ámbito.

4.4.4. Tabla de resultados de aprendizaje (guía de aprendizaje)

En la tabla 4.5 se recogen los resultados de aprendizaje de la asignatura, con sus competencias asociadas y nivel de adquisición. Éste último se representa utilizando una escala numérica, donde 1 indica “conocimiento”, 2 “comprensión, aplicación” y 3 “análisis, síntesis, implementación”. La tabla corresponde a la denominada “Resultados de aprendizaje de la asignatura” en el modelo de guía de aprendizaje.

De las competencias que en §4.4.1 se han identificado como relacionadas con *Comunicaciones Móviles*, en la tabla aparecen sólo aquéllas que forman parte de los objetivos de la asignatura. No se incluyen las competencias a cuya adquisición contribuye la asignatura pero que no se evalúan dentro de la misma.

El Anexo §B contiene las definiciones de todas las competencias a las que se hace referencia.

4.4.5. Indicadores de logro

Los indicadores de logro son objetivos específicos, que expresan de forma más concreta los resultados de aprendizaje (véanse §1.3.4 y §2.1). Dado que definen los conocimientos o habilidades que el alumno debe adquirir en la asignatura, sirven también como base para la evaluación.

4.4.6. Tabla de indicadores de logro (guía de aprendizaje)

Los indicadores de logro y su relación con resultados de aprendizaje se muestran en la tabla 4.6, que sigue el formato de la tabla “Indicadores de logro” de la guía de aprendizaje.

4.5. Metodología

Se describen a continuación los métodos, técnicas y medios de enseñanza utilizados en la asignatura. La selección de los mismos se basa en los conceptos generales descritos en §2.2.

Tabla 4.5: Resultados de aprendizaje en *Comunicaciones Móviles*

| Código | Resultado de aprendizaje | Competencias | Nivel |
|--------|--|------------------------|-------|
| RA1 | Comprender los fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles | CE-ST2 | 2 |
| RA2 | Comprender el funcionamiento de la interfaz radio de los sistemas de comunicaciones móviles | CE-ST2 | 2 |
| RA3 | Conocer las características de la propagación de ondas de radio en comunicaciones móviles y su impacto sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas | CECT8 | 2 |
| RA4 | Comprender el funcionamiento de las diferentes modalidades de redes celulares | CE-ST2 | 2 |
| RA5 | Conocer las especificaciones y el funcionamiento de los sistemas más representativos de Segunda Generación, Tercera Generación y evolución de Tercera Generación | CECT12, CE-ST2 | 2 |
| RA6 | Ser capaz de realizar la planificación radio de una red de comunicaciones móviles, teniendo en cuenta aspectos de cobertura y de capacidad | CECT15, CE-ST2, CE-ST5 | 3 |
| RA7 | Conocer el funcionamiento general de herramientas informáticas de planificación radio para comunicaciones móviles, y tener destreza en el manejo de alguna | CG9, CECT2 | 2 |
| RA8 | Conocer el funcionamiento general de herramientas de medida de la interfaz radio en sistemas de comunicaciones móviles | CE-ST2 | 2 |
| RA9 | Ser capaz de aprender de forma autónoma | CECT1 | 2 |
| RA10 | Tener creatividad en los aspectos técnicos relacionados con la asignatura | CG10 | 2 |
| RA11 | Ser capaz de comunicarse de forma efectiva | CG8 | 1 |

Tabla 4.6: Indicadores de logro en *Comunicaciones Móviles*

| Código | Indicador de logro | Result. apr. |
|--------|---|------------------|
| I1 | Conocer las categorías de sistemas de comunicaciones móviles y sus características generales | RA1 |
| I2 | Entender los conceptos fundamentales sobre la interfaz radio en comunicaciones móviles | RA2 |
| I3 | Conocer los principales modelos de cálculo de atenuación de propagación utilizados en comunicaciones móviles y saber cuándo son aplicables | RA3 |
| I4 | Conocer y comprender los efectos de desvanecimiento y distorsión producidos por la propagación, y las medidas aplicadas para contrarrestarlos | RA3 |
| I5 | Comprender los fundamentos de los sistemas celulares basados en FDMA/TDMA | RA4 |
| I6 | Comprender los fundamentos de los sistemas celulares basados en CDMA | RA4 |
| I7 | Comprender las técnicas utilizadas en los sistemas celulares de evolución de la Tercera Generación | RA4 |
| I8 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio GSM | RA5 |
| I9 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio GPRS | RA5 |
| I10 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio UMTS | RA5 |
| I11 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio HSDPA | RA5 |
| I12 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio HSUPA | RA5 |
| I13 | Conocer el funcionamiento de la interfaz radio LTE | RA5 |
| I14 | Conocer las características básicas de la interfaz radio TETRA | RA5 |
| I15 | Ser capaz de realizar el diseño de una red celular GSM/GPRS, incluyendo el uso de herramientas de planificación radio | RA6, RA7, RA9–11 |
| I16 | Ser capaz de realizar el diseño de una red celular UMTS/HSDPA/HSUPA, incluyendo el uso básico de herramientas de planificación radio | RA6, RA7, RA9–11 |
| I17 | Ser capaz de realizar el diseño de una red celular LTE, incluyendo el uso básico de herramientas de planificación radio | RA6, RA7, RA9–11 |
| I18 | Conocer y saber manejar una herramienta de medida de la interfaz radio | RA8 |

4.5.1. Métodos

En cuanto a la forma de razonamiento El enfoque de la asignatura es sobre todo deductivo, pero en algunas partes se utilizan también el método inductivo y el comparativo. El deductivo se utiliza sobre todo para la presentación de principios de funcionamiento y técnicas de planificación. En la descripción de sistemas es útil el enfoque comparativo, y se utiliza también, en menor medida, el inductivo.

En cuanto a la coordinación de la materia Se sigue un método lógico, como es habitual en enseñanzas universitarias.

En cuanto a la concretización de la enseñanza El método predominante es el simbólico. No obstante, se prevé el uso del método intuitivo en ciertos casos para ilustrar mejor algunos conceptos.

La aplicación del método intuitivo se concreta en el uso de tres herramientas basadas en ordenador, que sirven respectivamente para observar los efectos de la propagación multirrayecto, para ilustrar la relación entre cobertura y capacidad en sistemas celulares CDMA y para observar el funcionamiento de la interfaz radio de las redes móviles existentes en la actualidad. Estas herramientas se describen con más detalle en §4.5.2.

En cuanto a la sistematización de la materia El método utilizado es sistematizado. Adicionalmente, igual que en la asignatura *Radiocomunicaciones*, se prevé dedicar un breve tiempo al comienzo o al final de algunas clases para comentar noticias relacionadas con las comunicaciones móviles (véase en §4.5.2 más adelante una descripción de las técnicas utilizadas en la asignatura), lo cual constituye un uso del método ocasional.

En cuanto a las actividades de los alumnos El método de enseñanza en el aula debe ser activo, en el sentido de buscar la participación del alumno, mediante su seguimiento de las argumentaciones utilizadas por el profesor o mediante su participación en clase. El carácter activo del método se acentúa en las prácticas de laboratorio, en las que el alumno participa directamente realizando las actividades programadas.

En cuanto a la globalización de conocimientos El método es especializado. Ahora bien, siempre que sea posible se relacionarán los conocimientos impartidos con los de otras asignaturas. De esta forma no sólo se ve favorecido el aprendizaje de la asignatura, sino que además se facilita que el alumno comprenda la dependencia entre las distintas materias y sitúe éstas en un esquema general.

En cuanto a la relación entre profesor y alumno En el aula se utiliza sobre todo un método colectivo (exposición en el aula). En el laboratorio el método se aproxima más al individual, al ser posible una interacción más directa con el alumno. Las necesidades particulares de cada alumno pueden también atenderse por medio de las tutorías, en las que el método es totalmente individual.

En cuanto al trabajo del alumno Se combinan los métodos individual y colectivo, con preponderancia del primero. Dado el tipo de asignatura, el aprendizaje de la misma se logra principalmente mediante el esfuerzo intelectual que individualmente realiza cada alumno. Sin embargo, es conveniente utilizar también el método colectivo. Con ello se logra una mayor variedad y se contribuye al desarrollo de habilidades relacionadas con el trabajo en grupo, de acuerdo con los resultados de aprendizaje afectivos de la asignatura (§4.4.3).

En cuanto a la aceptación de lo enseñado El método se basa completamente en el descubrimiento, en el sentido de comprender antes que fijar. Los conocimientos se basan en razonamientos lógicos que deben comprenderse y discutirse hasta su aceptación por el alumno como algo cierto. En la parte de descripción de estándares o tecnologías concretas también se seguirá en lo posible este enfoque, tratando de descubrir el sentido de los parámetros o de las técnicas utilizadas en cada sistema.

4.5.2. Técnicas

De las técnicas descritas en §2.2.2, se indican a continuación las seleccionadas para *Comunicaciones Móviles*.

Técnica expositiva Se utiliza para la mayoría de los temas, como es habitual, debido a sus ventajas.

Pregunta Se utiliza asociada a la técnica expositiva.

Phillips 66 / diálogo simultáneo Se puede usar cualquiera de estas técnicas en la introducción de algunos temas, para observar el nivel de conocimientos básicos de los alumnos, o como forma de presentación del tema.

Se prevé su utilización en los siguientes puntos:

- Para repasar las ideas básicas de codificación de canal necesarias para la asignatura, especialmente la ganancia de codificación y el hecho de que esta ganancia es positiva sólo en un margen de valores de E_B/N_0 .

- Para explicar el comportamiento de la combinación de secuencias código ortogonales y pseudoaleatorias utilizada en los sistemas celulares CDMA. Se trata de identificar, para varios casos representativos (usuarios de una misma célula, usuarios de células distintas y usuarios de células distintas que utilizan la misma secuencia ortogonal), qué tipo de comportamiento presentan las señales desde el punto de vista de interferencia (comportamiento ortogonal o pseudoaleatorio).
- Para presentar las ventajas de la codificación de canal en sistemas de espectro ensanchado. El objetivo es que los alumnos descubran las diferencias respecto al uso de codificación de canal en sistemas clásicos, en relación con el concepto de ganancia de codificación.

Los puntos en los que se utilicen estas técnicas pueden modificarse durante el transcurso de la asignatura, en función de las características de la clase.

La elección entre Phillips 66 o diálogo simultáneo puede hacerse en el momento, en función de las condiciones de la clase.

Discusión en el aula de noticias relacionadas con la asignatura El profesor reserva un breve espacio de tiempo al comienzo o al final de algunas clases para comentar noticias relacionadas con la asignatura. Las noticias se proyectan en clase y se discuten por parte del profesor y de los alumnos.

Esta técnica contribuye a la motivación del alumno, poniendo de manifiesto la relación de la asignatura con la sociedad, y permite mostrar, aunque sea brevemente, aspectos de mercado o relacionados con el mundo empresarial.

Demostración directa Se emplea para la presentación intuitiva de algunos conceptos que han sido previamente desarrollados de forma teórica. Se basa en la realización de demostraciones prácticas o simulaciones mediante ordenador.

Las herramientas utilizadas son las siguientes:

1. Se dispone de un programa de Matlab, desarrollado por el candidato, que permite ilustrar los efectos producidos por la propagación multitrayecto en el dominio del tiempo (desvanecimiento, dispersión temporal y variación temporal), por medio de la transmisión y recepción de señales de audio. Esta técnica se basa en la analogía existente entre la propagación de ondas de radio y de sonido, y utiliza transmisiones reales (no simulaciones). Puede complementarse con el uso del analizador de espectros para observar los mismos efectos con ondas de radio en el dominio de la frecuencia, como se ha descrito en §3.5.2.

2. Se prevé usar otro programa de Matlab, desarrollado también por el candidato, que permite ilustrar el compromiso entre capacidad y cobertura en una red celular CDMA, incluyendo el efecto de la distribución espacial no uniforme de la carga y la existencia de múltiples servicios con diferentes requisitos de relación señal a ruido más interferencia.
3. Se utiliza además la herramienta Romes, u otra equivalente, para medida y monitorización de la interfaz radio de redes móviles GSM, GPRS y UMTS, con objeto de mostrar o ilustrar numerosos aspectos del funcionamiento de la interfaz radio de estas redes.

A continuación se describe con más detalle cada una de estas herramientas y su utilidad para la asignatura.

Propagación multitrayecto con señales de audio El primero de los programas mencionados consiste en la transmisión y recepción de una señal de audio, utilizando un altavoz y un micrófono, para medir las características del canal de propagación. Preferiblemente se utilizan dos ordenadores, de los cuales uno actúa como transmisor y otro como receptor. El programa tiene tres modos de funcionamiento:

- En banda estrecha, para medir variación temporal: consiste simplemente en la transmisión y recepción de un tono sin modular. Moviendo el micrófono y observando el nivel de la señal obtenida se puede observar el fenómeno del desvanecimiento, y se pueden medir parámetros que caracterizan la variación temporal del canal.
- En banda ancha, para medir dispersión temporal: en este caso la señal transmitida es una secuencia de espectro ensanchado que modula un tren de pulsos estrechos (chips) sobre una portadora. El periodo de los pulsos se elige lo más pequeño posible, dentro de las restricciones de la banda de audio, para tener una buena resolución temporal; la longitud de la secuencia se elige suficientemente grande para tener una buena sensibilidad (ganancia de procesamiento). Comparando la señal transmitida y la recibida se tiene una medida de la respuesta al impulso del canal. Se pueden medir parámetros que caracterizan la dispersión temporal del canal multitrayecto, y comparar con las características físicas del aula.
- En banda ancha, para medir simultáneamente dispersión y variación temporal: es una modificación del método anterior en el que se transmite periódicamente una secuencia corta tipo Barker. Las propiedades de autocorrelación de esta secuencia permiten obtener información sobre la dispersión

temporal del canal, mientras que el carácter periódico de la transmisión proporciona información sobre la variación temporal. Puede así obtenerse una estimación de la respuesta al impulso variante en el tiempo.

La herramienta proporciona una experiencia directa de los efectos de la propagación multitrayecto: desvanecimiento, dispersión temporal y variación temporal. Estos efectos, correspondientes a la parte de conceptos fundamentales de la asignatura, tienen muchas ramificaciones en la planificación y descripción de sistemas, por lo que su comprensión es muy importante. Adicionalmente, la herramienta permite ilustrar los conceptos y compromisos implicados en la medida de canales multitrayecto y en la recepción de señales en general: filtro adaptado; ganancia de procesamiento; necesidad de sincronismo entre la señal recibida y el patrón generado localmente en el receptor.

El programa ha sido utilizado con éxito por el candidato en varios cursos, y ha dado lugar a una publicación en la revista *IEEE Antennas and Propagation Magazine* [39], en la que se describe el funcionamiento del programa y se discute su uso con fines docentes.

Capacidad y cobertura en sistemas celulares CDMA Este programa permite ilustrar, de forma gráfica y muy intuitiva, varios aspectos relacionados con las redes celulares CDMA, como:

- Disminución de la cobertura de una célula al aumentar su carga o la de las células próximas;
- Efecto perjudicial de una distribución de carga no uniforme espacialmente en una red celular uniforme;
- Compartición automática de carga entre las células;
- Dependencia de la cobertura con el tipo de servicio.

Medida y monitorización de la interfaz radio (Romes) La herramienta Romes de medida y monitorización de la interfaz radio se emplea para ilustrar, entre otros posibles, los siguientes aspectos de los sistemas GSM, GPRS y UMTS:

- Información del sistema difundida por la estación base en cada una de las tecnologías;
- Valores típicos de ciertos parámetros de las interfaces radio GSM/GPRS (como número de portadoras, tipo de señalización o tamaño de la lista de frecuencias en las que el móvil debe hacer medidas) y UMTS (diferentes listas asociadas a las medidas, parámetros de configuración de los eventos de medida, parámetros relacionados con el control de potencia);

- Valores típicos y forma de variación de la relación E_B/N_0 en los canales dedicados de UMTS.
- Mensajes de señalización intercambiados en procedimientos típicos, como registro o establecimiento de llamadas.

La utilización de este programa como instrumento didáctico en el aula tiene varias ventajas:

- Ayuda a lograr una mejor fijación de los conceptos señalados, gracias al mayor grado de concretización que permite;
- Sirve para dar mayor variedad a la impartición de la clase, y contribuyen a aumentar la motivación del alumno en el aula;
- Permite además motivar al alumno para la realización de las prácticas de laboratorio sobre medida y monitorización de la interfaz radio.

El uso en el aula de la herramienta de medida de la interfaz radio debe ser moderado, ya que esta herramienta es utilizada también por los alumnos en el laboratorio. Si se hace un uso muy extensivo en el aula el alumno puede perder el interés por utilizar él mismo el programa. Se prevé, por tanto, su utilización en dos o tres sesiones durante periodos de tiempo cortos.

Prácticas de laboratorio Se prevé la realización por parte de los alumnos de diferentes tipos de medidas y de tareas de planificación radio en el laboratorio. Se utilizan equipos de uso profesional por los operadores de redes de comunicaciones móviles. Las prácticas realizadas están muy relacionadas con conceptos vistos en clase. (Puede verse una descripción detallada de las prácticas en §4.6.2).

Tutorías Se utilizan para orientación al alumno en temas propios de la asignatura, o en cuestiones más generales relacionadas con la carrera.

4.5.3. Medios

Para el desarrollo de los contenidos de la asignatura se utilizan los siguientes medios.

Pizarra Se utiliza para el desarrollo de la mayoría de los temas.

En las aulas de la Escuela se dispone de una pizarra oscura de gran tamaño, con tiza de color blanco y de colores. La pizarra está situada en el centro de la tarima, de modo que queda elevada, lo cual facilita su visión.

Sistema de presentación Se emplea como complemento o sustitución de la pizarra para la mayoría de los puntos, en los que el desarrollo basado en este medio es más conveniente.

Se prevé el uso del programa PowerPoint para Windows. Todas las aulas disponen de pantalla blanca y de proyector instalado en el techo. En algunas aulas la pantalla está situada delante de la pizarra, lo cual condiciona ligeramente su uso:

- Cuando la pantalla está extendida queda oculta la parte central de la pizarra. Por tanto, sólo pueden utilizarse las partes laterales de la misma.
- Se tarda un cierto tiempo en desplegar y en recoger la pizarra. Conviene por tanto minimizar el número de cambios entre uso de pantalla y uso de pizarra principal a lo largo de una misma clase.

Demostración basada en ordenador Se emplea para realizar demostraciones prácticas o simulaciones relativas a algunos de los conceptos.

Se utilizan varias herramientas informáticas (algunas de ellas desarrolladas por el candidato), descritas en §4.5.2. Su uso requiere disponer del siguiente material. Para las medidas de propagación se señalan de audio:

- Dos ordenadores portátiles equipados con tarjeta de sonido; altavoces y micrófono;
- Entorno de programación Matlab sobre Windows;
- Un programa que permita grabación de audio. Para ello puede utilizarse cualquier editor de audio estándar, como por ejemplo Goldwave.

Para el programa de visualización de capacidad y cobertura en redes celulares CDMA:

- Ordenador portátil;
- Entorno de programación Matlab sobre Windows.

Para la herramienta Romes de medida y monitorización de redes GSM, GPRS y UMTS:

- Ordenador portátil;
- Programa Romes con licencia de uso;
- Terminal móvil compatible con el programa.

Laboratorio Una parte de los créditos de la asignatura se dedican a la realización de prácticas de laboratorio. Se requiere para ello el uso de analizadores de espectros, herramientas informáticas de planificación y simulación y herramientas de medida y monitorización de la interfaz radio. El Departamento dispone en este sentido de [16]:

- Analizadores de espectro Hewlett-Packard ESA 1500;
- Ordenadores personales;
- Herramienta de planificación radio Sirenet con licencias para uso docente;
- Software para medida de la interfaz radio en redes GSM, GPRS y UMTS (Romes, de Rohde & Schwarz), con terminal móvil compatible.¹

Se contempla además ampliar la dotación del laboratorio con nuevos equipos en el futuro.

Plataforma Moodle Se prevé el uso de la plataforma Moodle de la Universidad Politécnica de Madrid como medio preferente para el intercambio de información. Entre otras características, esta plataforma sirve para depositar el material didáctico de la asignatura, comunicarse de forma personalizada con los alumnos, crear foros en los que puedan participar todos los alumnos y definir grupos para facilitar la coordinación en los trabajos en grupo.

4.5.4. Tabla de métodos de enseñanza (guía de aprendizaje)

La tabla 4.7 recoge las técnicas² seleccionadas para la enseñanza de la asignatura, siguiendo el formato de la guía de aprendizaje, en particular de la tabla allí denominada “Modalidades organizativas utilizadas y métodos de enseñanza empleados”.

¹Aunque el uso principal de este equipamiento es la investigación, se incluye en esta lista siguiendo el criterio del Plan de Estudios (véase nota 1 en la página 87). Por otro lado, el uso de esta herramienta para las prácticas no requiere el uso del terminal móvil para hacer medidas, y por tanto no implica el uso de ninguna licencia.

²Se recuerda que aunque en la guía de aprendizaje aparece la denominación “métodos de enseñanza”, el contenido que según [21] debe aparecer reflejado en la tabla corresponde a lo que en §2.2 se ha definido como “técnicas de enseñanza”.

Tabla 4.7: Métodos de enseñanza empleados en *Comunicaciones Móviles*

| | |
|--------------------------|---|
| Clases de teoría | Se utilizará la lección magistral para la exposición verbal de los contenidos, apoyándose en recursos audiovisuales. Se integrarán en el aula las técnicas expositiva, pregunta, Philips 66 y diálogo simultáneo. |
| Clases de problemas | Se resolverán problemas que servirán para aplicar los conocimientos adquiridos en las clases de teoría. Se utilizarán las técnicas expositiva y pregunta. |
| Demostración directa | Se realizarán demostraciones en el aula con herramientas informáticas y equipos de medida para ilustrar algunos de los conceptos. |
| Prácticas de laboratorio | Los alumnos realizarán prácticas con instrumentación de medida y monitorización de comunicaciones móviles, y trabajarán con herramientas software profesionales de planificación radio. |
| Trabajos autónomos | Los alumnos deberán realizar los problemas o ejercicios que se les propongan, para afianzar los conocimientos adquiridos. |
| Trabajos en grupo | Las prácticas de laboratorio se realizarán en grupo. |
| Tutorías | Los alumnos podrán hacer uso de tutorías personalizadas y en grupo, ya sea de forma presencial, por correo electrónico o mediante la plataforma Moodle. |

4.6. Planificación de los contenidos

Se presenta a continuación una planificación de los contenidos de la asignatura en capítulos y apartados, relacionando cada apartado con uno o varios de los indicadores de logro definidos en §4.4.6.

La planificación abarca las dos partes de la asignatura: por un lado los contenidos teóricos, ligados fundamentalmente a la impartición en el aula, y por otro las prácticas de laboratorio. Se describen ambas a continuación.

4.6.1. Contenidos teóricos

El desarrollo de los contenidos teóricos se basa en la descripción de la asignatura tal como aparece en el plan de estudios, y en los resultados del análisis realizado en §4.3.

La estructura de la asignatura por capítulos es la siguiente:

1. Introducción.
2. Fundamentos de la interfaz radio en comunicaciones móviles.
3. Propagación en comunicaciones móviles.
4. Sistemas celulares FDMA/TDMA.
5. Sistema GSM.
6. Sistema GPRS.
7. PMR y PAMR. Sistema TETRA.
8. Sistemas celulares CDMA.
9. Sistema UMTS.
10. Fundamentos de evolución de la Tercera Generación.
11. Sistema HSDPA.
12. Sistema HSUPA.
13. Sistema LTE.

Los capítulos pueden agruparse en cuatro bloques:

- Fundamentos comunes a todos los sistemas de comunicaciones móviles: capítulos 1–3. Se presentan los conceptos básicos, interfaz radio y propagación.
- Sistemas celulares FDMA/TDMA: capítulos 4–7. Este bloque puede dividirse a su vez en dos subgrupos: un capítulo sobre fundamentos (capítulo 4) y tres sobre descripción y planificación de sistemas: GSM (capítulo 5), GPRS (capítulo 6) y PMR/PAMR, representados por el sistema TETRA (capítulo 7).
- Sistemas celulares CDMA: capítulos 8 y 9. Este grupo puede igualmente subdividirse en fundamentos (capítulo 7) y descripción y planificación del sistema UMTS (capítulo 8)
- Sistemas diseñados como evolución de Tercera Generación: capítulos 10–13. Se presentan en primer lugar los fundamentos específicos a estos sistemas (capítulo 10), y luego planificación y descripción de sistemas concretos: HSDPA (capítulo 11), HSUPA (capítulo 12) y LTE (capítulo 13).

Como se desprende de lo anterior, hay dos tipos de capítulos: los que tratan fundamentos (1–4, 8 y 10) y los que tratan descripción y planificación sistemas concretos (5–7, 9 y 11–13). Los métodos de planificación se tratan en los capítulos relativos a sistemas, no en los relativos a fundamentos, debido a que la planificación de cada sistema tiene muchos aspectos que son específicos del mismo.

El contenido de la asignatura se centra en los sistemas europeos existentes actualmente, y dentro de éstos en los más extendidos, por ser los de mayor interés en el entorno profesional: GSM, GPRS, TETRA, UMTS, HSDPA, HSUPA y LTE. La descripción de la interfaz radio ocupa una parte importante del capítulo correspondiente a cada sistema, en coherencia con lo indicado en §4.3

La división de capítulos en apartados se presenta más adelante en §4.6.3.

4.6.2. Prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio planificadas son las siguientes:

1. Medidas con analizador de espectros: observación de señales GSM y UMTS de las redes de comunicaciones móviles existentes, y medida de algunas de sus características.
2. Planificación de una red celular: planificación de una pequeña red de comunicaciones móviles en una zona de Madrid, teniendo en cuenta aspectos de cobertura y de tráfico.
3. Interfaz radio GSM: estudio de la interfaz radio de GSM utilizando una herramienta de monitorización, que permite observar del funcionamiento interno de un terminal móvil en una red real.
4. Interfaz radio GPRS y UMTS: estudio análogo del funcionamiento de las interfaces radio de GPRS y de UMTS.

La selección de las prácticas se ha hecho teniendo en cuenta por un lado que las medidas o simulaciones realizadas traten temas de actualidad y estén relacionadas con conceptos vistos en la parte teórica, y por otro el equipamiento de laboratorio disponible (véase §4.5.3).

Las prácticas se realizan en el laboratorio en grupos de 2 ó 3 alumnos. En cada práctica se entrega un guión que describe las tareas y plantea preguntas relacionadas con el trabajo realizado. Al acabar la práctica debe entregarse una memoria, en la cual deben incluirse las respuestas a dichas preguntas, así como cualquier otro comentario que se considere relevante.

A continuación se describe con mayor detalle el contenido de cada práctica, su duración y el equipamiento del que hace uso.

Práctica 1: Medidas con analizador de espectros En esta práctica se observan señales GSM y UMTS mediante el analizador de espectros, y se estudian algunas de sus características. Para ello se utilizan señales de las redes de comunicaciones móviles existentes, recibidas mediante una antena.

De forma más concreta, en la práctica se realizan las siguientes observaciones y medidas:

1. GSM: observación en el dominio de la frecuencia. Observación del carácter selectivo o no en frecuencia del desvanecimiento multitrayecto sobre la señal GSM.
2. Medida del ancho de banda de la señal GSM y de la relación de potencia en los canales adyacentes.
3. Observación de la señal GSM en el dominio del tiempo. Identificación de portadoras baliza. Medida de los periodos de trama y de intervalo.
4. Observación del canal de señalización FCCH. Duración de la ráfaga de frecuencia.
5. UMTS: observación en el dominio de la frecuencia. Comprobación de la dificultad de detección de la señal de espectro ensanchado.
6. Medida de la potencia y ancho de banda de la señal UMTS.
7. Observación del carácter selectivo o no en frecuencia del desvanecimiento multitrayecto sobre la señal UMTS. Estimación del ancho de banda de coherencia del canal.

La duración de esta práctica es de 2 horas.

La práctica se realiza íntegramente con el analizador de espectros y una antena, que puede construirse con un cable coaxial y un pequeño dipolo soldado en su extremo. El material se encuentra disponible en el Departamento. En particular, los analizadores de espectros disponen de modo *zero span* y el tiempo de barrido puede reducirse hasta 5 ms. Estas características son necesarias para la observación de la señal GSM en el dominio del tiempo y del canal FCCH.

Práctica 2: Planificación de una red celular El objeto de esta práctica es aplicar y afianzar conceptos básicos relativos a la planificación de una red celular de comunicaciones móviles. Se utiliza la herramienta de planificación radio Sirennet (la misma utilizada en la asignatura *Radiocomunicaciones*), o bien otra de similares características, para llevar a cabo la planificación de una pequeña red GSM 1800 en una zona de Madrid, teniendo en cuenta aspectos de cobertura y de

tráfico. La elección de la tecnología GSM se basa en las limitaciones de la herramienta, que no incluye un módulo de simulación de sistema, y por tanto no resulta adecuada para planificación de redes UMTS o sus evoluciones.

La planificación se divide en dos fases. En la primera se realiza un despliegue mínimo de red con el objetivo de asegurar un cierto grado de cobertura. Dado que al comienzo de operación de una red el número de usuarios es bajo, los aspectos de tráfico no son críticos en esta fase. En la segunda etapa se añaden estaciones base para aumentar la capacidad de tráfico de la red, en previsión de un incremento en el número de usuarios.

Para la planificación se definen los parámetros de los equipos radio (estación base, móvil, antenas), el método de cálculo de la atenuación de propagación, la zona de trabajo, la densidad de tráfico y los objetivos de cobertura y grado de servicio. En cada fase se definen además los resultados mínimos que se deben entregar (tablas y mapas).

El trabajo se estructura como sigue:

1. Primera fase: selección inicial de emplazamientos.
2. Ajuste de inclinación de las antenas.
3. Generación de mapas de resultados.
4. Segunda fase: cálculo de tráfico admisible por la red diseñada.
5. Introducción de nuevas estaciones base para incrementar la capacidad hasta el valor necesario.
6. Ajuste de potencia de las estaciones base (opcional).
7. Generación de mapas de resultados.

La duración planificada para esta práctica es de 4 horas de laboratorio.

La práctica se desarrolla en el ordenador. Se hace uso del programa Sirenet y de cartografía digital de la ciudad de Madrid, disponibles en el Departamento.

Práctica 3: Interfaz radio GSM En esta práctica se estudia el funcionamiento de la interfaz radio GSM, por medio de la herramienta de monitorización y medida Romes. Este programa permite analizar la interfaz radio y observar el funcionamiento interno de un terminal móvil en una red real.

El programa puede funcionar en dos modos: “en directo” o “en diferido”. En el primero se conecta un terminal móvil específico al ordenador y se observa en tiempo real el funcionamiento de la interfaz radio. Los resultados pueden almacenarse en un archivo de registro. En el segundo se reproduce, de forma secuencial,

la información contenida en un archivo de registro. La licencia de uso del programa es necesaria sólo para el funcionamiento en directo.

La práctica se divide en cuatro partes, descritas a continuación. En las tres primeras se analizan, en diferido, archivos de registro previamente grabados. La última parte consiste en la realización de pruebas similares a las anteriores con el terminal móvil en directo, y puede realizarse en cualquier momento. De este modo pueden compartirse la licencia y el móvil entre los diferentes grupos que están realizando la práctica.

1. Modo desocupado: se observan e interpretan los mensajes de señalización recibidos por el móvil y las medidas realizadas por éste en modo desocupado.
2. Llamada de voz: se reproduce un archivo de registro que contiene una llamada, y se observan la señalización intercambiada y el procedimiento seguido: petición de canal, asignación, establecimiento de llamada, informes de medidas y liberación.
3. Llamada de voz con traspasos: se observa el mecanismo de traspaso en una llamada concreta y se intentan identificar las causas del mismo.
4. Otras pruebas: se reproduce con el móvil suministrado alguno de los procesos anteriores, u otros diferentes, según las preferencias de cada grupo.

La duración planificada para esta práctica es de 2 horas.

En el desarrollo de la práctica se utiliza el ordenador. Se emplea el programa Romes con archivos de registro preparados específicamente para las prácticas. Además se hace uso del terminal móvil suministrado, funcionando en directo con el programa.

Práctica 4: Interfaz radio GPRS y UMTS En esta práctica se estudia el funcionamiento de la interfaz radio GPRS y UMTS, por medio del programa Romes.

La práctica se divide en cuatro partes:

1. Actividad del móvil en modo desocupado en GPRS: observación de mensajes recibidos de la red e interpretación de su contenido.
2. Registro GSM/GPRS: se observa el proceso de registro del móvil en la red GSM/GPRS, estudiando el contenido de los mensajes intercambiados y analizando diversos parámetros contenidos en la información transmitida.
3. Sesión GPRS: se analizan diversos aspectos de la transmisión y gestión de canales durante una sesión GPRS.

4. Modo desocupado en UMTS: observación de mensajes recibidos de la red e interpretación de su contenido.
5. Llamada UMTS: se analizan las medidas realizadas por el móvil en UMTS, se interpreta el contenido de algunos mensajes de señalización y se observan algunos parámetros relativos a los canales utilizados en la transmisión.

La duración planificada para esta práctica es de 2 horas.

En esta práctica se utiliza principalmente el ordenador. Como en la anterior, se emplea el programa Romes con archivos de registro preparados específicamente para las prácticas, y se hace uso del terminal móvil suministrado, funcionando en directo con el programa.

4.6.3. Tabla de contenidos y actividades de aprendizaje (guía de aprendizaje)

La tabla “Contenidos y actividades de aprendizaje” definida en el modelo de guía de aprendizaje indica los contenidos detallados de la asignatura y su relación con los resultados de aprendizaje. Como en el caso de *Radiocomunicaciones*, dicha tabla se muestra para mayor claridad en dos partes: la tabla 4.8 se refiere a los contenidos teóricos, y la 4.9 a las prácticas de laboratorio.

Como se ve en la tabla 4.8, en todos los capítulos dedicados a descripción y planificación de sistemas se sigue una estructura similar:

- Origen del sistema y aspectos relacionados: motivación, evolución histórica, organismos de estandarización.
- Arquitectura funcional de la red: elementos e interfaces.
- Características básicas de la interfaz radio.
- Modulación, codificación de canal y aspectos relacionados de la interfaz radio.
- Procesos asociados a la transmisión en la interfaz radio.
- Protocolos definidos en la red, procesos y servicios portadores ofrecidos.
- Planificación.
- Evolución.

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que alguno de estos puntos puede no existir en ciertos capítulos, o puede desdoblarse en varios apartados si su complejidad así lo aconseja.

4.6. PLANIFICACIÓN DE LOS CONTENIDOS

Tabla 4.8: Contenidos y actividades de aprendizaje en *Comunicaciones Móviles*: parte de teoría

| Capítulo | Apartado | Indicadores relacionados |
|---|---|--------------------------|
| 1. Introducción | 1.1 Conceptos generales | I1 |
| | 1.2 Composición de un sistema de comunicaciones móviles | I1 |
| | 1.3 Clasificación. Bandas de frecuencias | I1 |
| | 1.4 Cobertura, calidad y capacidad | I1 |
| 2. Fundamentos de la interfaz radio en comunicaciones móviles | 2.1 Repaso de modelo energético | I2 |
| | 2.2 Modulaciones utilizadas en comunicaciones móviles | I2 |
| | 2.3 Codificación de canal en comunicaciones móviles | I2 |
| | 2.4 Acceso múltiple y multiplexación | I2 |
| 3. Propagación en comunicaciones móviles | 3.1 Caracterización | I3, I4 |
| | 3.2 Modelos de cálculo de atenuación | I3 |
| | 3.3 Desvanecimiento por sombra y por multitrayecto. Impacto sobre el sistema | I4 |
| | 3.4 Distorsión producida por multitrayecto | I4 |
| 4. Sistemas celulares FDMA/TDMA | 4.1 Concepto celular clásico | I5 |
| | 4.2 Estructura celular y cálculo de interferencias | I5 |
| | 4.3 Dimensionamiento | I5 |
| | 4.4 Arquitectura general de las redes de comunicaciones móviles | I1, I5 |
| 5. Sistema GSM | 5.1 Organismos de estandarización. Generaciones de sistemas. Origen de GSM | I8 |
| | 5.2 Arquitectura de red. Entidades funcionales. Zonas e identidades. | I8 |
| | 5.3 Interfaz radio. Canales. Estructura TDMA. Ráfagas | I8 |
| | 5.4 Modulación, codificación, entrelazado | I8 |
| | 5.5 Procesos asociados a la transmisión | I8 |
| | 5.6 Protocolos. Gestión de recursos radio, de movilidad y de la comunicación. Servicios | I8 |
| | 5.7 Planificación. Balance de enlace | I8, I15 |
| | 5.8 Evolución de GSM. HSCSD, EDGE | I8 |

Continúa en la página siguiente

CAPÍTULO 4. PROGRAMACIÓN DE *COMUNICACIONES MÓVILES*

Tabla 4.8—continuación

| Capítulo | Apartado | Indicadores relacionados |
|--|---|--------------------------|
| 6. Sistema GPRS | 6.1 Origen de GPRS. Diferencias respecto a GSM | I9 |
| | 6.2 Arquitectura de red | I9 |
| | 6.3 Interfaz radio. Canales. Estructura TDMA | I9 |
| | 6.4 Métodos de codificación | I9 |
| | 6.5 Protocolos. Gestión de recursos radio, de movilidad y de sesión | I9 |
| | 6.6 Planificación | I9, I15 |
| 7. PMR y PAMR. Sistema TETRA | 7.1 Sistemas PMR y PAMR | I1 |
| | 7.2 Sistema TETRA: visión general y aplicaciones | I14 |
| 8. Sistemas celulares CDMA | 8.1 Fundamentos de espectro ensanchado | I6 |
| | 8.2 Fundamentos de CDMA por secuencia directa | I6 |
| | 8.3 Características de los sistemas celulares CDMA | I6 |
| 9. Sistema UMTS | 9.1 Origen de UMTS. Tercera Generación | I10 |
| | 9.2 Arquitectura de red | I10 |
| | 9.3 Interfaz radio. Ensanchamiento espectral. Canales. | I10 |
| | 9.4 Codificación, adaptación de tasa binaria, entrelazado, modulación | I10 |
| | 9.5 Procesos asociados a la transmisión | I10 |
| | 9.6 Protocolos. Estados de conexión. Gestión de movilidad. Servicios. | I10 |
| | 9.7 Capacidad | I10, I16 |
| | 9.8 Planificación. Caracterización del enlace radio. Balance de enlace. | I10, I16 |
| 10. Fundamentos de evolución de la Tercera Generación. | 10.1 HARQ con combinación de retransmisiones | I7 |
| | 10.2 Adaptación al canal radio | I7 |
| | 10.3 Planificación de usuarios (scheduling) dependiente del canal | I7 |
| | 10.4 Transmisión multiantena (MIMO) | I7 |

Continúa en la página siguiente

4.6. PLANIFICACIÓN DE LOS CONTENIDOS

Tabla 4.8—continuación

| Capítulo | Apartado | Indicadores relacionados |
|-------------------|--|--------------------------|
| 11. Sistema HSDPA | 11.1 Origen de HSDPA. Diferencias respecto a UMTS | I11 |
| | 11.2 Modificaciones en la red | I11 |
| | 11.3 Canales físicos | I11 |
| | 11.4 Codificación, adaptación de tasa binaria, modulación | I11 |
| | 11.5 Procesos asociados a la transmisión. Planificación de usuarios | I11 |
| | 11.6 Protocolos | I11 |
| | 11.7 HSDPA+ | I11 |
| | 11.8 Planificación | I11, I16 |
| 12. Sistema HSUPA | 12.1 Origen de HSUPA. Diferencias respecto a UMTS | I12 |
| | 12.2 Modificaciones en la red | I12 |
| | 12.3 Canales físicos. Ensanchamiento | I12 |
| | 12.4 Codificación, adaptación de tasa binaria | I12 |
| | 12.5 Procesos asociados a la transmisión | I12 |
| | 12.6 Protocolos | I12 |
| | 12.7 Planificación | I12, I16 |
| 13. Sistema LTE | 12.1 Origen de LTE. Evolución hacia la Cuarta Generación | I13 |
| | 13.2 Arquitectura de red | I13 |
| | 13.3 Interfaz radio. Canales | I13 |
| | 13.4 Codificación, adaptación de tasa binaria, entrelazado, modulación | I13 |
| | 13.5 Modos de transmisión multiantena (MIMO) | I13 |
| | 13.6 Procesos asociados a la transmisión. Planificación de usuarios | I13 |
| | 13.7 Protocolos. Estados de conexión. | I13 |
| | 13.8 Planificación. Balance de enlace. | I13, I17 |
| | 13.9 LTE-Advanced | I13 |

Tabla 4.9: Contenidos y actividades de aprendizaje en *Comunicaciones Móviles*: prácticas de laboratorio

| Práctica | Descripción | Indicadores relacionados |
|--|--|--------------------------|
| 1. Medidas con analizador de espectros | Observación de señales GSM y UMTS de las redes de comunicaciones móviles existentes, y medida de algunas de sus características | I4, I8 |
| 2. Planificación de una red celular | Planificación de una pequeña red de comunicaciones móviles mediante herramienta Sirenet, teniendo en cuenta aspectos de cobertura y de tráfico | I15 |
| 3. Interfaz radio GSM | Estudio de la interfaz radio GSM utilizando herramienta de medida y monitorización Romes | I8, I18 |
| 4. Interfaz radio GPRS y UMTS | Estudio de las interfaces radio GPRS y UMTS utilizando herramienta de medida y monitorización Romes | I9, I10, I18 |

4.7. Sistema de evaluación

4.7.1. Evaluación de los alumnos

De acuerdo con la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.3.3), se establecen dos sistemas de evaluación excluyentes: evaluación continua o mediante prueba final.

La evaluación continua consta de tres partes:

- Se realizan 3 controles distribuidos a lo largo del periodo lectivo, que cubren la totalidad del temario. Cada control se califica con una nota numérica entre 0 y 10. Sean las notas correspondientes C_1 , C_2 y C_3 . La nota media de controles, C , se obtiene como $(C_1 + C_2 + C_3)/3$.
- El alumno obtiene una nota de prácticas, P , mediante la asistencia a las mismas con aprovechamiento y la entrega, dentro de la semana siguiente a la finalización de la práctica, de una memoria descriptiva del trabajo realizado. Cada memoria se evalúa con una nota P_1, \dots, P_4 comprendida entre 0 y 10, y P se obtiene como la media de éstas: $P = (P_1 + \dots + P_4)/4$.

La nota final de la asignatura se determina como $0,6C + 0,4P$, siempre que C y P sean iguales o superiores a 4.

Los controles de evaluación continua constan de una primera parte que se realiza sin libros ni apuntes, con preguntas cortas que se centran en conceptos básicos de la asignatura, y de una segunda parte con problemas más largos, para resolver con libros y apuntes. Los problemas o apartados de los mismos tendrán dificultad diversa, para poder discriminar el grado de conocimiento de los alumnos.

La evaluación mediante prueba final consta de dos partes:

- Examen final de la asignatura, que se califica con una nota E .
- Nota de prácticas, P , obtenida mediante el mismo procedimiento que para los alumnos de evaluación continua.

La nota final de la asignatura se obtiene como $0,65E + 0,35P$, siempre que E y P sean iguales o superiores a 4.

El examen final está formado por dos partes, con características similares a las descritas en el caso de evaluación continua, aunque de mayor duración.

La asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria para todos los alumnos. Esta exigencia está en consonancia con la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.3.3), según la cual la evaluación mediante prueba final puede incluir exámenes y actividades de evaluación global de la asignatura, y se puede exigir la asistencia del estudiante a lo largo del curso a actividades de evaluación que estén relacionadas con resultados de aprendizaje de difícil calificación en una prueba final; tal es el caso de las prácticas de laboratorio previstas en la asignatura.

Igual que en *Radiocomunicaciones*, en *Comunicaciones Móviles* no hay examen final en la modalidad de evaluación continua; la normativa de la Universidad Politécnica de Madrid deja libertad en este sentido (§1.3.3). En el caso de evaluación mediante prueba final, el peso relativo del examen respecto a las prácticas es ligeramente superior al que tiene en la evaluación continua (0,65/0,35 frente a 0,6/0,4).

4.7.2. Evaluación del profesor

La evaluación del profesor se realiza por parte de los alumnos poco antes de finalizar el curso, igual que en *Radiocomunicaciones*, para lo cual se realizan encuestas según el modelo elaborado por la Universidad Politécnica de Madrid (véase §1.5.2). Los resultados de dicha evaluación pueden utilizarse para corregir o mejorar la actuación en el curso siguiente.

El modelo de encuesta se reproduce en el Anexo §D.

Tabla 4.10: Evaluación sumativa en *Comunicaciones Móviles*

| Actividades evaluables | Momento | Lugar | Peso |
|-----------------------------------|-----------------|-------------|------|
| Control parcial 1 | Semana 5 | Aula | 20 % |
| Control parcial 2 | Semana 10 | Aula | 20 % |
| Control parcial 3 | Semana 15 | Aula | 20 % |
| Práctica 1: realización y entrega | Semanas 5 y 6 | Laboratorio | 10 % |
| Práctica 2: realización y entrega | Semanas 7–9 | Laboratorio | 10 % |
| Práctica 3: realización y entrega | Semanas 11 y 12 | Laboratorio | 10 % |
| Práctica 4: realización y entrega | Semanas 13 y 14 | Laboratorio | 10 % |

4.7.3. Tablas de evaluación sumativa y criterios de calificación (guía de aprendizaje)

Las tablas 4.10 y 4.11 resumen los criterios de evaluación presentados en §4.7.1, siguiendo el formato de las tablas “Evaluación sumativa” y “Criterios de calificación” de la guía de aprendizaje.

4.8. Cronograma de trabajo de la asignatura

El cronograma de trabajo describe la organización temporal de los contenidos, así como las actividades de aprendizaje y de evaluación asociadas a los mismos. De acuerdo con las recomendaciones de la Universidad Politécnica de Madrid [21], el cronograma se estructura en unidades de una semana.

Igual que en el caso de *Radiocomunicaciones*, para la organización temporal de *Comunicaciones Móviles* se han considerado 15 semanas efectivas, con 4 horas de aula o laboratorio por semana. Esta duración corresponde a las 16 ó 17 semanas lectivas por semestre previstas por la Universidad Politécnica de Madrid (§1.3.4) de las que se descuentan fiestas y periodos de vacaciones. El total de 60 horas se ha repartido en 47 horas de aula, 10 horas de prácticas de laboratorio y 3 para pruebas de evaluación.

4.8.1. Organización de los contenidos teóricos

Para cada uno de los capítulos se ha considerado el tiempo de clase indicado a continuación. En este tiempo se incluyen todas las técnicas previstas para su aplicación en el aula, en particular la realización de problemas y demostraciones directas.

Tabla 4.11: Criterios de calificación en *Comunicaciones Móviles*

| Criterios de calificación |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ En convocatoria ordinaria los alumnos serán evaluados, por defecto, mediante evaluación continua. La calificación de la asignatura se obtendrá del siguiente modo: $\text{Nota final} = 60 \% \text{ Nota media de controles} + 40 \% \text{ Nota media de prácticas,}$ siempre que las dos componentes sean mayores o iguales a 4. ■ La asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria. ■ En cumplimiento de la normativa de evaluación de la Universidad Politécnica de Madrid, los alumnos que lo deseen serán evaluados mediante un único examen final siempre y cuando lo comuniquen al Director del Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones mediante solicitud presentada en el registro de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación antes del 15 de octubre del año en curso. Esta opción supone la renuncia a la evaluación continua. ■ En convocatoria extraordinaria, o en convocatoria ordinaria con evaluación mediante prueba final, la calificación de la asignatura será: $\text{Nota final} = 65 \% \text{ Nota del examen final} + 35 \% \text{ Nota media de prácticas,}$ siempre que las dos componentes sean mayores o iguales a 4. |

- Presentación de la asignatura: 1 hora;
- Capítulo 1: Introducción: 1 hora;
- Capítulo 2: Fundamentos de la interfaz radio en comunicaciones móviles: 2 horas;
- Capítulo 3: Propagación en comunicaciones móviles: 5 horas;
- Capítulo 4: Sistemas celulares FDMA/TDMA: 3 horas;
- Capítulo 5: Sistema GSM: 7 horas;
- Capítulo 6: Sistema GPRS: 2 horas;
- Capítulo 7: PMR y PAMR. Sistema TETRA: 1 hora;
- Capítulo 8: Sistemas celulares CDMA: 5 horas;
- Capítulo 9: Sistema UMTS: 8 horas;
- Capítulo 10: Fundamentos de evolución de la Tercera Generación: 3 horas;
- Capítulo 11: Sistema HSDPA: 2 horas;
- Capítulo 12: Sistema HSUPA: 1 hora;
- Capítulo 13: Sistema LTE: 6 horas.

4.8.2. Organización de las prácticas de laboratorio

Disponibilidad de equipamiento y número de alumnos Las prácticas se han planificado de modo que cada una sea realizada simultáneamente por todos los alumnos. Esto se ha hecho para facilitar la organización temporal y permitir que en cada práctica hayan sido impartidos previamente los conceptos teóricos necesarios. Para aliviar las restricciones por número de equipos, podría pensarse en una organización basada en rotación, según la cual en cada sesión no todos los alumnos realizan la misma práctica. Sin embargo, esta opción se ha descartado porque, en el caso de la asignatura *Comunicaciones Móviles*, los conceptos teóricos y conocimientos que habría que presentar a los alumnos antes de cada práctica son numerosos e implican un considerable nivel de detalle.

De acuerdo con la organización indicada en el párrafo anterior, las necesidades de número de equipos o licencias para cada práctica son las siguientes, expresadas en función del número N de alumnos por clase y el número n de alumnos por grupo de prácticas:

- Práctica 1 (Medidas con analizador de espectros): $\lceil N/n \rceil$ analizadores de espectros.
- Práctica 2 (Planificación de una red celular): $\lceil N/n \rceil$ licencias de uso de Sirenet.
- Prácticas 3 y 4 (Interfaz radio GSM, GPRS y UMTS): al menos 1 licencia para uso en directo de Romes (el uso en diferido no tiene limitación en cuanto a número de puestos).

El número de licencias de Sirenet puede ampliarse sin coste, o a coste muy reducido, como se ha señalado en §3.8.2. Por tanto la limitación viene dada por el número de analizadores de espectros disponibles. Este número está dimensionado en el Departamento para asignaturas que en principio tienen mayor número de alumnos que CM, por lo que no supone un problema.

En las prácticas 3 y 4 se utiliza el programa Romes en modo diferido, y por tanto sin limitación de número de puestos, excepto una parte que se desarrolla con el terminal móvil en directo. Esta parte puede hacerse en cualquier momento a lo largo de la práctica, lo cual permite compartir un móvil entre todos los grupos. El propósito de que cada alumno use en algún momento el programa con el terminal móvil es lograr una mayor sensación de realismo, y permitir que los alumnos puedan realizar en modo directo pruebas similares a las incluidas en el guión, o bien otras diferentes, según su preferencia. Si el número de alumnos fuera elevado sería conveniente, aunque no imprescindible, la adquisición de una segunda licencia y otro terminal móvil.

Restricciones temporales Las restricciones en cuanto a organización temporal vienen impuestas por los conceptos que es necesario conocer en cada práctica. Éstos son:

- Práctica 1 (medidas con analizador de espectros): capítulo 3 y parte del 5. (Aunque en parte de esta práctica se observan señales UMTS, no es necesario conocer dicho sistema).
- Práctica 2 (planificación de una red celular): capítulos 2–5.
- Práctica 3 (interfaz radio GSM): capítulo 5.
- Práctica 4 (interfaz radio GPRS y UMTS): capítulos 6 y 9.

Como puede verse, el orden de las prácticas se ha elegido en correspondencia con el orden de impartición de los capítulos necesarios. De esta forma puede distribuirse de manera uniforme a lo largo del curso el tiempo dedicado por el alumno al trabajo de laboratorio.

4.8.3. Correspondencia entre créditos ECTS y horas de trabajo

Se estiman 27 horas de dedicación del alumno por cada crédito ECTS, de acuerdo con las indicaciones del Plan de Estudios (véase §1.3.2) y en coherencia con la normativa de la Universidad Politécnica de Madrid en cuanto a la elaboración de la guía de aprendizaje [21].

4.8.4. Cronograma de trabajo (guía de aprendizaje)

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha elaborado el cronograma que se muestra en la tabla 4.12. En él se refleja para cada actividad la dedicación en horas que supone al alumno, siguiendo el formato de la tabla “Cronograma de trabajo de la asignatura” de la guía de aprendizaje.

En el trabajo individual se contempla el estudio del material impartido y realización de problemas. Se ha considerado un ligero incremento del tiempo de estudio y realización de problemas en las fechas próximas a los controles de evaluación continua. A diferencia de la planificación de la asignatura *Radiocomunicaciones*, no se incluye tiempo del alumno dedicado específicamente a preparación de las prácticas, ya que en *Comunicaciones Móviles* los conceptos teóricos necesarios han sido previamente cubiertos en el aula y afianzados por medio del estudio normal del alumno.

En el trabajo en grupo se considera la elaboración de las memorias de prácticas de laboratorio.

4.9. Recursos didácticos

Se detalla a continuación la bibliografía recomendada para *Comunicaciones Móviles*, clasificada en las mismas categorías que en §3.9:

- Básica: textos que contienen la mayor parte del material correspondiente a la asignatura, con un nivel adecuado a la misma.
- De ampliación: referencias para ampliar ciertos aspectos de la asignatura, seleccionadas por su importancia o por su carácter didáctico.
- De apoyo: referencias útiles para reforzar conocimientos fundamentales, que quedan fuera de la asignatura pero que son necesarios para la misma.
- Otras fuentes, como por ejemplo información publicada por empresas del sector, organizaciones internacionales de estandarización y software de análisis o simulación relacionado con las comunicaciones móviles.

Tabla 4.12: Cronograma de la asignatura *Comunicaciones Móviles*

| Semana | Activ. aula | Activ. laboratorio | Trabajo individual | Trabajo en grupo | Activ. evaluación |
|----------|---|--------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 (10h) | Presentación (1h). Capítulo 1 (1h). Capítulo 2 (2h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 2 (10h) | Capítulo 3 (4h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 3 (10h) | Capítulo 3 (1h). Capítulo 4 (3h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 4 (12h) | Capítulo 5 (4h) | | Estudio, problemas (6h) | | |
| 5 (12h) | Capítulo 5 (1h) | Práctica 1 (2h) | Estudio, problemas (8h) | | Control 1 (1h) |
| 6 (10h) | Capítulo 5 (2h). Capítulo 6 (2h) | | Estudio, problemas (5h) | Memoria de práctica 1 (1h) | |
| 7 (10h) | Capítulo 7 (1h). Capítulo 8 (1h) | Práctica 2 (2h) | Estudio, problemas (6h) | | |
| 8 (10h) | Capítulo 8 (2h) | Práctica 2 (2h) | Estudio, problemas (6h) | | |
| 9 (12h) | Capítulo 8 (2h). Capítulo 9 (2h) | | Estudio, problemas (6h) | Memoria de práctica 2 (2h) | |
| 10 (12h) | Capítulo 9 (3h) | | Estudio, problemas (8h) | | Control 2 (1h) |
| 11 (10h) | Capítulo 9 (2h) | Práctica 3 (2h) | Estudio, problemas (6h) | | |
| 12 (10h) | Capítulo 9 (1h). Capítulo 10 (3h) | | Estudio, problemas (5h) | Memoria de práctica 3 (1h) | |
| 13 (10h) | Capítulo 11 (2h) | Práctica 4 (2h) | Estudio, problemas (6h) | | |
| 14 (12h) | Capítulo 12 (1h). Capítulo 13 (3h) | | Estudio, problemas (7h) | Memoria de práctica 4 (1h) | |
| 15 (12h) | Capítulo 13 (3h) | | Estudio, problemas (8h) | | Control 3 (1h) |

Para cada referencia se incluyen comentarios sobre sus características más destacables y se justifica su idoneidad para la asignatura. Todos los comentarios se basan en opiniones del candidato.

Bibliografía básica El texto fundamental de la asignatura es [40]:

José María Hernando. *Comunicaciones Móviles*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, segunda edición, 2004.

Esta obra constituye una referencia clásica en la materia, y una de las pocas disponibles en español. Abarca una buena parte del contenido planificado para la asignatura. Cubre de forma excelente los conceptos fundamentales y de planificación, así como la descripción de sistemas móviles concretos. Se puede utilizar como libro de texto en la mayor parte de la asignatura.

Otros libros útiles para cubrir parte del material son los siguientes:

- Fundamentos, descripción y planificación del sistema UMTS [41]:

José María Hernando y Cayetano Lluch (editores). *Comunicaciones Móviles de Tercera Generación: Sistema UMTS*. Telefónica Móviles España, segunda edición, 2001.

Este libro trata con profundidad el sistema UMTS, incluyendo planificación de red radio y de red fija, así como aspectos de negocio.

- Descripción y planificación del sistema UMTS [42]:

Harri Holma y Antti Toskala (editores). *WCDMA for UMTS. HSPA Evolution and LTE*. John Wiley and Sons, cuarta edición, 2007.

Es la referencia clásica sobre el sistema UMTS. Los autores, pertenecientes a Nokia Siemens (anteriormente Nokia), están o han estado implicados en el proceso de estandarización de UMTS en 3GPP. Además de la descripción del sistema, el libro trata aspectos de planificación radio, incluyendo planificación basada en simulación.

- Fundamentos, descripción y planificación de los sistemas HSDPA, HSUPA y LTE [43]:

Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld y Per Beming. *3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Academic Press, segunda edición, 2008.

Contiene una descripción muy clara y completa de los sistemas desarrollados como evolución de la Tercera Generación. Es una obra muy didáctica porque, a diferencia de otros libros, no sólo describe cómo funcionan los sistemas sino que también explica, con gran acierto y destreza, las técnicas en que se basan.

Se recomienda la utilización del libro de Hernando [40] señalado al principio como libro de texto para la mayor parte de la asignatura, incluyendo los capítulos 1–9. Para los capítulos 10–13 la referencia más adecuada es el libro de Dahlman y otros [43]. En algunos puntos del temario pueden completarse estas referencias con las indicadas a continuación:

- El libro de Hernando y Lluch sobre UMTS [41] contiene un capítulo sobre fundamentos de CDMA³ que se adapta muy bien al contenido del capítulo 8 de la asignatura.
- Para los aspectos de caracterización del enlace radio en UMTS y planificación mediante simulación del capítulo 8, es muy recomendable el libro de Holma y Toskala [42].

Bibliografía de ampliación Los libros de Hernando y Lluch [41], Holma y Toskala [42], y Dahlman y otros [43], señalados con anterioridad, son muy buenas referencias para profundizar en el conocimiento de los sistemas UMTS, HSUPA, HSDPA y LTE.

Otros libros que pueden resultar útiles son:

- Sobre el sistema GSM [44]:

Michel Mouly y Marie-Bernardette Pautet. *The GSM System for Mobile Communications*. Publicado por los autores, 1992.

Esta obra es una referencia esencial sobre GSM. Contiene una descripción muy detallada, clara y didáctica sobre este sistema, que no ha sido superada por otros libros publicados con posterioridad. No trata las tecnologías desarrolladas como evolución de GSM.

- Sobre planificación, características de equipos radio y señalización en GSM [45]:

José María Hernando (editor). *Comunicaciones Móviles GSM*. Fundación Airtel, 1999.

³El candidato es coautor del mismo.

Este libro trata el sistema GSM, tanto desde el punto de vista de la red radio como de la red fija. Para ampliar los contenidos vistos en la asignatura se recomiendan especialmente el capítulo 5, sobre características de equipos radio GSM, y el 9, sobre señalización en la interfaz radio.

- Sobre planificación UMTS [46]:

Jaana Laiho, Achim Wacker y Tomáš Novosad (editores). *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley and Sons, segunda edición, 2006.

Esta obra (escrita por algunos de los coautores del libro coordinado por Holma y Toskala mencionado anteriormente [42]) contiene un tratamiento muy detallado sobre planificación radio del sistema UMTS. Hasta hace poco los resultados en este campo estaban disponibles únicamente a través de artículos de investigación (publicados en muchos casos por coautores del libro). La mayoría de estos resultados quedan recogidos en este libro. Además de planificación radio, se tratan aspectos de gestión de recursos radio y optimización. El libro incluye una herramienta de planificación desarrollada en Matlab.

- Sobre UMTS, HSDPA y HSUPA [47]:

Chris Johnson. *Radio Access Networks for UMTS*. John Wiley and Sons, 2008.

Este libro contiene una descripción muy completa sobre los sistemas UMTS, HSDPA y HSUPA, incluyendo el funcionamiento detallado de los protocolos de la red de acceso radio.

- Sobre gestión de recursos radio en UMTS [48]:

Ramón Agustí, Manuel Álvarez-Campana y Oriol Sallent. *Elementos de Arquitectura y Gestión de Recursos Radio en UMTS*. Fundación Vodafone, 2004.

El libro proporciona una visión muy completa sobre el acceso radio y el núcleo de red en UMTS. Se recomiendan especialmente el capítulo 2, que contiene una visión general sobre la arquitectura de UMTS, y el capítulo 4, que trata métodos para la gestión de recursos radio.

- Sobre el sistema LTE y gestión de recursos radio en el mismo [49]:

Ramón Agustí (editor). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Fundación Vodafone España, 2010.

Este libro, de muy reciente aparición, describe de forma clara y didáctica el sistema LTE y algunas de las tecnologías relacionadas como MIMO, gestión de recursos radio y redes heterogéneas.

- Sobre detección multiusuario para CDMA [50]:

Sergio Verdú. *Multiuser detection*. Cambridge University Press, 1998.

Ésta es la referencia esencial sobre receptores multiusuario, escrita con maestría y rigor por el pionero de este campo.

Aparte de los libros señalados, para algunas cuestiones es especialmente recomendable acudir a artículos de investigación o de divulgación que destacan por su importancia o por la claridad de la exposición:

- Sobre la capacidad de las redes celulares basadas en CDMA [51]:

Klein S. Gilhousen, Irwin M. Jacobs, Roberto Padovani, Andrew J. Viterbi, Lindsay A. Weaver, Jr. y Charles E. Wheatley, III. On the Capacity of a Cellular CDMA System. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40(2):303–312, mayo 1991.

Éste es el artículo clásico sobre capacidad de sistemas CDMA, escrito por investigadores de Qualcomm, empresa pionera en la introducción de esta técnica de acceso en sistemas celulares. El artículo presenta un análisis claro del problema, y resulta muy didáctico. Realiza para ello algunas aproximaciones.

Un análisis basado en el anterior pero más general (y más complicado) puede encontrarse en [52]

Giovanni Emanuele Corazza, Giovanni De Maio y Francesco Vatalaro. CDMA cellular systems performance with fading, shadowing, and imperfect power control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 47(2):450–459, mayo 1998.

- Sobre el comportamiento dinámico y la inestabilidad del protocolo Aloha [53]:

Aydano B. Carleial y Martin E. Hellman. Bistable behavior of ALOHA-type systems. *IEEE Transactions on Communications*, 23(4):401–410, abril 1975.

Este artículo analiza el comportamiento dinámico del protocolo Aloha. Concluye la existencia de dos situaciones casi estables: una deseada, en la que el número de colisiones y de paquetes en espera es bajo; y otra no deseada, en la que existe gran congestión; con transiciones ocasionales de una a otra. Este hecho justifica la necesidad de técnicas de control para evitar la congestión, como las usadas en los canales de acceso aleatorio de GSM y GPRS.

El análisis de estabilidad de Aloha no aparece en muchos de los libros sobre redes de telecomunicación que tratan este protocolo. Un libro clásico que sí discute este tema, haciendo un análisis similar al del artículo referido más arriba, es el siguiente [54]:

Dimitri Bertsekas y Robert Gallager. *Data Networks*. Prentice Hall, segunda edición, 1991.

- Sobre las técnicas de espectro ensanchado desde el punto de vista de teoría de la información [55]:

James L. Massey. Information Theory Aspects of Spread-Spectrum Communications. En *IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, julio 1994, pp. 16-20.

Esta ponencia repasa los conceptos de ancho de banda y dimensión del espacio de representación de las señales, presenta una definición de espectro ensanchado basada en estos conceptos y analiza diversos ejemplos, de los que extrae conclusiones, en especial respecto a las diferencias entre ensanchamiento por codificación de canal y por secuencia directa.

- Sobre la tendencia de los sistemas de comunicaciones móviles hacia tasas binarias cada vez más altas [56]:

Moray Rumney. What Next for Mobile Telephony? *Agilent Measurement Journal*, 2007, número 3, pp. 32-37.

Argumenta que las tasas binarias de pico ofrecidas por los sistemas de comunicaciones móviles y las tasas binarias medias realmente obtenidas son muy diferentes, y que dimensionar las redes para alcanzar esas tasas de pico tiene importantes implicaciones en el coste, mientras que los ingresos están más relacionados con las tasas binarias medias. Discute también otros aspectos de funcionamiento de las redes móviles.

Bibliografía de apoyo Una referencia clásica para sistemas de radiocomunicaciones en general y propagación es [31]:

José María Hernando. *Transmisión por Radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces, sexta edición, 2008.

Para repaso de los conceptos de teoría de la probabilidad, variables aleatorias y procesos estocásticos puede consultarse [57]:

Athanasios Papoulis y S. Unnikrishna Pillai. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2002.

Para conceptos de sistemas lineales una referencia excelente es [58]:

Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky y S. Hamid Nawab. *Signals and Systems*. Prentice Hall, segunda edición, 1997.

Para modulaciones digitales y codificación de canal se recomienda [59]:

John G. Proakis. *Digital Communications*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2001.

Para teoría de colas [60]:

Leonard Kleinrock. *Queuing Systems. Volume 1: Theory*. John Wiley and Sons, 1975.

Otras fuentes Las especificaciones de GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, HSUPA y LTE se encuentran disponibles a través de la dirección de Internet del organismo de estandarización 3GPP, <http://www.3gpp.org>. Además de las especificaciones técnicas e informes técnicos, puede accederse a los documentos presentados en las reuniones de los diferentes grupos de trabajo.

Existen numerosas herramientas de planificación para sistemas de comunicaciones móviles. El programa Sirenet, utilizado en las prácticas de la asignatura, es ofrecido por sus desarrolladores para uso sin licencia en modo demostración:

- Sirenet, desarrollado por Aptica. <http://www.aptica.es>.

La misma empresa mantiene el programa Xirio-online, de similares características, que funciona en un servidor y por tanto no requiere instalación:

- Xirio-online, desarrollado por Aptica. <http://www.xirio-online.com>.

Se indican a continuación otras dos herramientas muy conocidas, junto con direcciones de Internet donde se puede conseguir información. Las dos contienen módulos de planificación de sistemas de Segunda, Tercera y evolución de Tercera Generación, incluyendo LTE:

Tabla 4.13: Recursos bibliográficos en *Comunicaciones Móviles*

| | |
|--------------|--|
| Bibliografía | José María Hernando. <i>Comunicaciones Móviles</i> . Editorial Universitaria Ramón Areces, segunda edición, 2004. |
| | José María Hernando y Cayetano Lluch (editores). <i>Comunicaciones Móviles de Tercera Generación: Sistema UMTS</i> . Telefónica Móviles España, segunda edición, 2001. |
| | Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld y Per Beming. <i>3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband</i> . Academic Press, segunda edición, 2008. |
| Recursos web | Página web de la asignatura: http://www.grc.ssr.upm.es |
| | Plataforma Moodle: http://moodle.upm.es |
| Equipamiento | Laboratorio |
| | Aula: la asignada por Jefatura de Estudios |
| | Sala de trabajo en grupo: laboratorio |

- Atoll, desarrollado por Forsk. <http://www.forsk.com>.
- Planet, desarrollado por Mentum (antes por Marconi). <http://www.mentum.com>.

De las herramientas de medida y monitorización de la interfaz radio disponibles, además del equipo Romes mencionado con anterioridad, pueden destacarse las siguientes. En las direcciones de Internet que se indican puede encontrarse información sobre sus características y funciones:

- Herramienta TEMS, desarrollada por Ascom (antes por Ericsson). <http://www.ascom.com/tems>.
- Herramienta XCAL-W, de Couei. <http://www.couei.com>.
- Herramienta E6474A *Wireless Network Optimization Platform*, desarrollada por JDSU (antes por Agilent Technologies). <http://www.jdsu.com>.

4.9.1. Tabla de recursos didácticos (guía de aprendizaje)

Las consideraciones anteriores permiten elaborar la tabla “Recursos didácticos” de la guía de aprendizaje, que queda como se muestra en la tabla 4.13.

Anexo A

Adaptación al Plan de Estudios 1994

Se ofrecen a continuación algunas indicaciones sobre cómo podría adaptarse al Plan de Estudios 1994 la planificación descrita en los capítulos §3 y §4.

A.1. Plan de Estudios 1994

Estructura y duración Los contenidos del Plan 1994 de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid se ordenan distinguiendo los siguientes tipos de materias:

- Materias troncales, definidas por las directrices generales propias del título de Ingeniero de Telecomunicación [61].
- Materias determinadas discrecionalmente por la Universidad en sus planes de estudio. En estas materias se distingue entre:
 - Materias obligatorias: libremente establecidas por cada Universidad, que las incluye dentro del correspondiente Plan de Estudios como obligatorias para el alumno. Tanto éstas como las troncales son comunes a todos los currícula.
 - Materias optativas: libremente establecidas por cada Universidad, que las incluye en el correspondiente Plan de Estudios para que el alumno escoja entre las mismas. Los diferentes tipos de optatividad (áreas de especialidad, fuera de área u otras) se definen en el Plan de Estudios.
 - Materias de libre elección: elegidas por el estudiante, con objeto de lograr una configuración flexible de su currículum. La Universidad debe incluir en el Plan de Estudios un porcentaje en créditos sobre la carga lectiva total del mismo que el estudiante aplicará a las materias que

libremente escoja entre las impartidas por la propia Universidad, o por otras con las que se establezcan los convenios oportunos.

La unidad de valoración de las enseñanzas en el Plan 1994 es el crédito. Un crédito corresponde a 10 horas de clase (teórica o práctica). El Plan consta de 373,5 créditos, y se estructura en dos ciclos. El primer ciclo dura tres cursos y el segundo dos. Cada curso se divide en dos cuatrimestres de 15 semanas cada uno.

La distribución de créditos es la siguiente:

1. Primer ciclo: 218,5 créditos, repartidos de la siguiente forma: 90 troncales, 88,5 obligatorios, 18 optativos. y 22 libres.
2. Segundo ciclo: 155 créditos, de los cuales hay 81 son troncales, 9 obligatorios, 50 optativos y 15 libres.

La formación común (créditos troncales y obligatorios) representa un 71 % del total. El número de créditos exigidos por el Plan de Estudios en asignaturas de libre elección es el 10% del total, valor mínimo requerido por las directrices generales de los títulos oficiales [62].

El estudiante puede obtener parte de los créditos optativos y de libre elección mediante equivalencia, es decir, realizando otras actividades a las que se les haya reconocido una equivalencia en créditos.

Tipos de asignaturas Las asignaturas tienen una base cuatrimestral. Hay asignaturas diferenciadas de teoría y de laboratorio. Las de teoría constan de 3; 4,5; 6 ó 7,5 créditos, y las asignaturas de laboratorio de 3 ó 4 créditos.

Las materias troncales se desarrollan organizando los créditos de cada una de ellas en asignaturas, de acuerdo con los siguientes criterios:

- En el desarrollo de las materias troncales de primer ciclo en asignaturas, se han utilizado créditos adicionales obligatorios para completar la formación de algunas materias.
- En el desarrollo de las materias troncales de segundo ciclo en asignaturas, el número de créditos es el establecido en las directrices generales propias del título, a excepción del Proyecto Fin de Carrera, al que se han asignado 8 créditos suplementarios.

Adicionalmente, la formación común se ha complementado con asignaturas obligatorias.

Las asignaturas optativas del primer ciclo son de carácter básico, de formación científica o tecnológica. En el segundo ciclo las asignaturas optativas se cursan en el marco de una especialidad. Para ello, las asignaturas optativas de especialidad

se organizan en *áreas de especialidad e intensificaciones*, como se describirá más adelante.

El Proyecto Fin de Carrera es una asignatura consistente en un trabajo realizado por el alumno bajo la dirección de un tutor, que tiene por objetivo la aplicación por parte de aquél de los conocimientos y experiencias acumulados durante la carrera, de sus dotes de creatividad y originalidad y de sus habilidades personales a la solución de problemas reales, al desarrollo de ideas, modelos o prototipos, o a la realización de estudios técnicos. Al Proyecto Fin de Carrera se le asignan 6 créditos troncales y 8 créditos optativos.

Estructura del primer ciclo El primer ciclo comprende materias comunes (troncales u obligatorias), materias optativas y de libre configuración del currículum. Los dos últimos tipos de materias no se asocian a un curso concreto. El primer ciclo tiene una carga lectiva de 218,5 créditos, distribuidos como sigue.

- Asignaturas comunes: 178,5 créditos.
 - Primer curso: 63 créditos.
 - Segundo curso: 61,5 créditos.
 - Tercer curso: 54 créditos.
- Asignaturas optativas: 18 créditos.
- Libre elección: 22 créditos.

Estructura del segundo ciclo El segundo ciclo tiene una carga de 155 créditos, y en él se desarrolla la especialización. Se estructura de la forma siguiente:

- Asignaturas comunes (incluyendo Proyecto Fin de Carrera): 98 créditos.
 - Cuarto curso: 64,5 créditos.
 - Quinto curso: 33,5 créditos.
- Asignaturas de especialidad: 42 créditos.
 - Cuarto curso: 12 ó 16 créditos.
 - Quinto curso: 30 ó 26 créditos.
- Libre elección: 15 créditos. Pueden obtenerse por prácticas en empresas.

Especialidades El segundo ciclo incluye 42 créditos de materias optativas. De éstos, un mínimo de 12 corresponden a enseñanzas de laboratorio.

El desarrollo de los 42 créditos optativos de segundo ciclo se ha estructurado en áreas de especialidad, intensificaciones y materias optativas de especialidad:

- El área de especialidad constituye el primer nivel de opción para el alumno. Cada área de especialidad tiene un conjunto de asignaturas comunes a todos los alumnos que la cursen.
- La intensificación constituye el segundo nivel de opción. Consiste en un bloque de asignaturas que se pueden cursar una vez cursadas las asignaturas comunes de un área de especialidad determinada, o bien, para algunas intensificaciones, una vez cursadas las asignaturas comunes de cualquier área de especialidad.
- Las materias optativas de especialidad son el tercer nivel de opción. Pueden elegirse libremente.

Hay tres áreas de especialidad en el Plan 1994: Comunicaciones, Electrónica y Telemática. De cada área de especialidad dependen un número de intensificaciones, que en el caso de la especialidad de Comunicaciones son: Tratamiento de Señales, Sistemas de Radiocomunicación, Sistemas Audiovisuales y Tecnologías de Radiofrecuencia. Existen además, como se ha indicado, intensificaciones a las que puede accederse desde cualquier especialidad.

A.2. Asignatura *Radiocomunicaciones*

La asignatura *Radiocomunicaciones* del Plan 1994 pertenece a la especialidad de Comunicaciones, y se imparte en cuarto curso, segundo cuatrimestre. Desarrolla parte de la materia optativa denominada “Sistemas de Radiocomunicaciones”, que tiene la siguiente descripción [63]:

Materias relativas a sistemas específicos de radio, tales como: sistemas radar, sistemas de radionavegación, comunicaciones móviles, comunicaciones por satélite.

La duración de la asignatura es de 6 créditos (60 horas de clase), divididos en 4,5 teóricos y 1,5 prácticos. Los créditos prácticos no corresponden a prácticas de laboratorio, ya que en el Plan 1994, a diferencia lo que sucede en el Plan 2010, dichas prácticas se organizan en asignaturas de laboratorio específicas (§A.1). Concretamente, las prácticas relacionadas con esta asignatura se encuadran en el *Laboratorio de Radiocomunicaciones* (el cual también incluye algunas prácticas relacionadas con *Comunicaciones Móviles*, como se verá más adelante).

De acuerdo con lo anterior, pueden hacerse los siguientes comentarios sobre la planificación de esta asignatura.

Contenidos Desde un punto de vista general, los objetivos y contenidos de la asignatura son similares a los de la asignatura del Plan 2010. No obstante, una planificación detallada exigiría analizar los programas de las restantes asignaturas para identificar dependencias y posibles solapamientos (como se ha hecho en §3.3), los cuales podrían llevar a ligeras modificaciones en los contenidos de *Radiocomunicaciones*.

La distribución de tiempos debe modificarse, ya que al no incluir en la asignatura prácticas de laboratorio se dispone de más tiempo de clase. El tiempo adicional puede invertirse en realizar un proyecto más completo, que incluya más carga de trabajo para el alumno, y en ampliar las horas dedicadas a algunos temas. Puede también incluirse un capítulo breve sobre redes de área personal inalámbricas, con descripciones de los tecnologías Bluetooth y ZigBee. Otra opción, teniendo en cuenta que no todos los alumnos de la especialidad cursan la asignatura *Comunicaciones Móviles*, es incluir un capítulo de introducción a los sistemas de comunicaciones móviles. Habría que evitar, no obstante, un solapamiento excesivo con dicha asignatura.

Metodología La metodología puede ser similar, aunque con algunas diferencias. Debido a la no inclusión de prácticas de laboratorio, es recomendable hacer mayor uso de las técnicas de demostración directa en clase, para presentar de forma intuitiva los conceptos teóricos que se presten más fácilmente a ello o que ofrezcan mayor dificultad. En particular, pueden mostrarse con más detalle el funcionamiento de la herramienta de planificación radioeléctrica y los resultados obtenidos con la misma en algunos casos representativos.

Evaluación El sistema de evaluación de la asignatura es similar al descrito anteriormente, excepto que no incluye la parte de prácticas. Así, existe la posibilidad de evaluación continua, mediante controles a lo largo del curso y un trabajo final desarrollado en grupo; y una segunda opción consistente en evaluación mediante prueba única.

La evaluación de la actuación docente es igual que la descrita para el Plan 2010, ya que en el Plan 1994 se utiliza, desde el curso 2010-11, el mismo modelo de encuesta al que se ha hecho referencia con anterioridad.

A.3. Asignatura *Comunicaciones Móviles*

La asignatura *Comunicaciones Móviles* del Plan 1994, impartida en quinto curso, primer cuatrimestre, se ubica en la intensificación en Sistemas de Radiocomunicación, a la que se accede desde la especialidad de Comunicaciones, y desarrolla parte de la materia optativa “Sistemas de Radiocomunicaciones”, que tiene la descripción indicada en §A.2.

El Plan determina la duración de la asignatura, que también en este caso es de 6 créditos (60 horas), de los cuales 4,5 son teóricos y 1,5 prácticos. Los créditos prácticos no se refieren a prácticas de laboratorio, ya que existen asignaturas específicas de laboratorio (§A.1)). En concreto, el *Laboratorio de Radiocomunicaciones* incluye las siguientes prácticas sobre comunicaciones móviles: medidas de terminales móviles GSM, GPRS, UMTS y HSDPA utilizando equipamiento específico, y planificación de sistemas celulares mediante una herramienta software de planificación radio.

Contenidos Los objetivos y contenidos de la asignatura son parecidos a los del Plan 2010. Como en el caso de *Radiocomunicaciones*, una planificación detallada exigiría revisar los programas de las asignaturas relacionadas para identificar dependencias y posibles solapamientos.

El tiempo destinado a los contenidos teóricos aumenta, como en el caso anterior, debido a la no inclusión de prácticas de laboratorio dentro de la asignatura. Este tiempo adicional puede repartirse entre todos los capítulos, ya que en principio no existe ninguno que tenga mayor necesidad que el resto. Puede considerarse también añadir un capítulo sobre sistemas inalámbricos, con una breve descripción del estándar DECT. En todo caso, debe reservarse una parte considerable del tiempo para reforzar las demostraciones directas en clase, como se describe más abajo.

Metodología Una parte importante del tiempo adicional debe dedicarse a transmitir conocimientos prácticos mediante demostraciones en clase. Estas demostraciones pueden así sustituir parte de las prácticas previstas en el Plan 2010; concretamente los contenidos prácticos de la asignatura no abarcados por el *Laboratorio de Radiocomunicaciones* del Plan 1994. Se considera fundamental para la formación en comunicaciones móviles que el alumno observe, preferiblemente en directo, el funcionamiento real de las redes existentes.

En este sentido, el contenido de la práctica 1 definida en el Plan 2010 (véase §4.6.2) puede cubrirse de forma casi íntegra en el aula mediante este procedimiento, lo cual contribuye a una visión más práctica e intuitiva sobre el desvanecimiento multirayecto, la estructura temporal de las señales GSM y las caracterís-

ticas espectrales de las señales GSM y UMTS. Igualmente, el uso de herramientas de medida y monitorización de la interfaz radio en el aula debe potenciarse, con el objetivo de suplir, en la medida de lo posible, la experiencia proporcionada por las prácticas 3 y 4 programadas en el Plan 2010. Este conocimiento práctico refuerza y amplía los conceptos impartidos en los capítulos correspondientes a las tecnologías observadas.

Evaluación Son aplicables los mismos comentarios que en *Radiocomunicaciones*. El sistema de evaluación de la asignatura es similar al utilizado en el Plan 2010, sólo que sin incluir la parte de prácticas; y la evaluación del profesor es igual que la prevista para dicho Plan.

Anexo B

Competencias generales, comunes de telecomunicación y de tecnología específica de Sistemas de Telecomunicación

Las definiciones de las competencias que se recogen a continuación están tomadas de [16].

B.1. Competencias generales

- CG1** Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- CG2** Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- CG3** Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.

ANEXO B. COMPETENCIAS

CG4 Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

CG5 Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

CG6 Uso de la lengua inglesa.

CG7 Trabajo en equipo.

CG8 Comunicación oral y escrita.

CG9 Uso de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones.

CG10 Creatividad.

CG11 Liderazgo de equipos.

CG12 Organización y planificación.

CG13 Respeto medioambiental.

B.2. Competencias específicas comunes a la rama de telecomunicación

CECT1 Capacidad para aprender de manera autónoma nuevos conocimientos y técnicas adecuados para la concepción, el desarrollo o la explotación de sistemas y servicios de telecomunicación.

CECT2 Capacidad de utilizar aplicaciones de comunicación e informáticas (ofimáticas, bases de datos, cálculo avanzado, gestión de proyectos, visualización, etc.) para apoyar el desarrollo y explotación de redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación y electrónica.

CECT3 Capacidad para utilizar herramientas informáticas de búsqueda de recursos bibliográficos o de información relacionada con las telecomunicaciones y la electrónica.

CECT4 Capacidad de analizar y especificar los parámetros fundamentales de un sistema de comunicaciones.

B.2. COMPETENCIAS COMUNES DE TELECOMUNICACIÓN

- CECT5** Capacidad para evaluar las ventajas e inconvenientes de diferentes alternativas tecnológicas de despliegue o implementación de sistemas de comunicaciones, desde el punto de vista del espacio de la señal, las perturbaciones y el ruido y los sistemas de modulación analógica y digital.
- CECT6** Capacidad de concebir, desplegar, organizar y gestionar redes, sistemas, servicios e infraestructuras de telecomunicación en contextos residenciales (hogar, ciudad y comunidades digitales), empresariales o institucionales responsabilizándose de su puesta en marcha y mejora continua, así como conocer su impacto económico y social.
- CECT7** Conocimiento y utilización de los fundamentos de la programación en redes, sistemas y servicios de telecomunicación.
- CECT8** Capacidad para comprender los mecanismos de propagación y transmisión de ondas electromagnéticas y acústicas, y sus correspondientes dispositivos emisores y receptores.
- CECT9** Capacidad de análisis y diseño de circuitos combinacionales y secuenciales, síncronos y asíncronos, y de utilización de microprocesadores y circuitos integrados.
- CECT10** Conocimiento y aplicación de los fundamentos de lenguajes de descripción de dispositivos de hardware.
- CECT11** Capacidad de utilizar distintas fuentes de energía y en especial la solar fotovoltaica y térmica, así como los fundamentos de la electrotecnia y de la electrónica de potencia.
- CECT12** Conocimiento y utilización de los conceptos de arquitectura de red, protocolos e interfaces de comunicaciones.
- CECT13** Capacidad de diferenciar los conceptos de redes de acceso y transporte, redes de conmutación de circuitos y de paquetes, redes fijas y móviles, así como los sistemas y aplicaciones de red distribuidos, servicios de voz, datos, audio, vídeo y servicios interactivos y multimedia.
- CECT14** Conocimiento de los métodos de interconexión de redes y encaminamiento, así como los fundamentos de la planificación, dimensionado de redes en función de parámetros de tráfico.
- CECT15** Conocimiento de la normativa y la regulación de las telecomunicaciones en los ámbitos nacional, europeo e internacional.

B.3. Competencias de tecnología específica de Sistemas de Telecomunicación

CE-ST1 Capacidad para construir, explotar y gestionar las redes, servicios, procesos y aplicaciones de telecomunicaciones, entendidas éstas como sistemas de captación, transporte, representación, procesado, almacenamiento, gestión y presentación de información multimedia, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.

CE-ST2 Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión.

CE-ST3 Capacidad de análisis de componentes y sus especificaciones para sistemas de comunicaciones guiadas y no guiadas.

CE-ST4 Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas, radiodifusión, radioenlaces y radiodeterminación.

CE-ST5 Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias.

CE-ST6 Capacidad para analizar, codificar, procesar y transmitir información multimedia empleando técnicas de procesado analógico y digital de señal.

Anexo C

Descripción de las asignaturas relacionadas con *Radiocomunicaciones y Comunicaciones Móviles*

Se incluyen, por orden alfabético, las descripciones de las asignaturas tal como aparecen en el Plan de Estudios 2010 [19].

Comunicaciones Digitales/Transmisión Digital Aspectos generales, capacidad de un canal. Transmisión en banda base: control del espectro. Modulaciones: modulaciones diferenciales. Modulaciones ortogonales. Casos particulares: MSK, CPFSK, OFDM, CDMA, TFM. Receptores: receptores de símbolo único (BER), receptores de secuencia de símbolos (Viterbi. Igualación de canal. Sincronización de bit y portadora.

Comunicaciones Móviles Introducción a los sistemas de comunicaciones móviles. Dimensionamiento y teoría celular clásica en comunicaciones móviles. Modelos de propagación para canales móviles. Sistemas GSM y GPRS. Sistemas PMR y PAMR. Multiacceso CDMA. Sistemas UMTS y HSPA. Evolución a 4G. Prácticas de laboratorio.

Electrónica de Comunicaciones Introducción a un sistema de comunicaciones. Diagrama de bloques y fuentes de distorsión. Descripción y especificaciones de los componentes básicos de un sistema de comunicaciones: filtros, osciladores, mezcladores, amplificadores. Descripción y especificaciones de los sintetizadores de frecuencia. Descripción y especificaciones del subsistema transmisor y receptor. Prácticas de laboratorio: analizador de espec-

tros. Transceptor heterodino. Lazos de enganche de fase y sintetizadores de frecuencia.

Redes y Servicios de Telecomunicación Las redes de telecomunicación. Redes por enlace directo. Conmutación en redes. Tráfico y dimensionamiento de redes. Servicios portadores de telecomunicaciones. Casos de estudio: LANs Ethernet, WiFi, WiMAX, PSTN, BRDSI, GSM, UMTS, tráfico y dimensionado, SLA, QoS en MetroEthernet.

Radiación y Propagación Fundamentos electromagnéticos de radiación y propagación. Parámetros básicos de antena. Fórmula de Friis. Ruido en un sistema de comunicaciones. Aspectos básicos de propagación de ondas. Descripción y usos de los principales tipos de antenas.

Radiocomunicaciones Introducción a las radiocomunicaciones. Fundamentos de los enlaces radioeléctricos. Radiopropagación. Radioenlaces terrenales y espaciales. Sistemas de radiodifusión. Prácticas de laboratorio.

Señales Aleatorias Teoría de la probabilidad. Variables aleatorias unidimensionales. Variables aleatorias multidimensionales. Señales y secuencias aleatorias.

Señales y Sistemas Introducción a señales y sistemas. Sistemas lineales e invariantes en el tiempo. Transformada de Fourier de señales en tiempo continuo. Transformada de Fourier de señales en tiempo discreto. Muestreo: representación de una señal continua a partir de sus muestras equiespaciadas. Laboratorio de procesamiento de señal.

Sistemas de Radiodeterminación Introducción: sistemas, tecnologías y aplicaciones. Radionavegación y radiolocalización: sistemas de radionavegación aérea y marítima. Los sistemas GPS y Galileo. Radar: fundamentos: aplicaciones civiles y militares. Tipos y características: radares de seguimiento, de vigilancia, radares de imagen, radares anticolidión, etc. Parámetros básicos. Alcance de un radar. Diagrama de bloques de un sistema típico. Radiolocalización en sistemas de telefonía móvil. Radiogoniometría y vigilancia del espectro.

Sistemas de Telecomunicación Introducción a los sistemas de telecomunicación. Sistemas de acceso cableados. Sistemas de acceso satelitales. Elaboración de un proyecto, completo, de telecomunicación.

Sistemas de Transmisión Introducción a los sistemas de comunicaciones. Fuentes de información: caracterización de fuentes analógicas y digitales. Co-

dificación digital de señales analógicas. Medios de transmisión: introducción y caracterización de los medios de transmisión. Líneas de transmisión metálicas. Líneas de transmisión por fibra óptica. Transmisión por radio. Perturbaciones: distorsión, intermodulación, diafonía, interferencia y ruido. Transmisión analógica y digital de señales: modelo de sistema de transmisión digital. Comparación entre transmisión analógica y transmisión digital. Descripción y análisis de algunos sistemas de transmisión.

Teoría de la Comunicación Introducción a los sistemas de comunicaciones. Señales, ruido y distorsión. Transmisión analógica. Introducción a los sistemas digitales de comunicación. Transmisión digital en banda base. Transmisión digital modulada. Prácticas de simulación.


Teoría de la Información Introducción. Entropía e información mutua. Fuentes con memoria. Compresión de datos. Capacidad del canal. Códigos lineales. Códigos cíclicos. ARQ y prestaciones.

Anexo D

Modelo de encuesta

El modelo de encuesta que se entrega a los alumnos, fijado por [25], se muestra en la figura D.1.


ANEXO D. MODELO DE ENCUESTA



POLITÉCNICA

ETSIT

UPM



ENCUESTA A ESTUDIANTES SOBRE LA ACTIVIDAD DOCENTE DEL PROFESORADO

INSTRUCCIONES

- Si está **Completamente de Acuerdo** marque un **5**
- Si está **Muy de Acuerdo** marque un **4**
- Si está de **Acuerdo** marque un **3**
- Si está en **Desacuerdo** marque un **2**
- Si está **Muy en Desacuerdo** marque un **1**
- Si está **Completamente en Desacuerdo** marque **0**

· **NO utilizar lápiz**

· **Procure contestar a todos los ítems**

| CÓDIGO ASIGNATURA | | | | CÓDIGO PROFESOR/A | | | |
|-------------------|---|---|---|-------------------|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |

marque así así no marque

| | CD | MD | D | A | MA | CA |
|--|----|----|---|---|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Las tareas previstas (teóricas, prácticas, de trabajo individual, en grupo, etc) guardan relación con lo que se pretende que aprenda en la actividad docente..... | | | | | | |
| 2. En el desarrollo de esta actividad docente no hay solapamientos con los contenidos de otras actividades ni repeticiones innecesarias..... | | | | | | |
| 3. Se han coordinado adecuadamente las tareas teóricas y prácticas previstas en el programa..... | | | | | | |
| 4. El volumen de contenidos y tareas que comprende la actividad docente guarda proporción con los créditos que tiene asignados..... | | | | | | |
| 5. La dedicación que exige esta actividad docente se corresponde con la prevista en el programa..... | | | | | | |
| 6. El modo en que se evalúa (exámenes, memorias de prácticas, trabajos individuales o de grupo, etc.) guarda relación con el tipo de tareas (teóricas, prácticas, individuales, grupales, etc.) desarrolladas..... | | | | | | |
| 7. He mejorado mi nivel de partida, con relación a las competencias previstas en el programa..... | | | | | | |
| 8. La información que proporciona el profesor/a sobre la actividad docente (objetivos, actividades, bibliografía, criterios y sistemas de evaluación, etc.) me ha resultado de fácil acceso y utilidad..... | | | | | | |
| 9. El profesor/a prepara, organiza y estructura bien las actividades o tareas que se realizan en la clase (o laboratorio, taller, trabajo de campo, seminario, etc)..... | | | | | | |
| 10. El profesor/a explica con claridad y resalta los contenidos importantes de la actividad docente..... | | | | | | |
| 11. El profesor/a resuelve las dudas y orienta a los alumnos en el desarrollo de las tareas..... | | | | | | |
| 12. La ayuda recibida del profesor/a en tutorías resulta eficaz para aprender..... | | | | | | |
| 13. La bibliografía recomendada por el profesor/a es útil para desarrollar las tareas individuales o de grupo..... | | | | | | |
| 14. El profesor/a favorece la participación de los estudiantes en el desarrollo de la actividad docente (facilita que exprese sus opiniones, incluye tareas individuales o de grupo, etc.)..... | | | | | | |
| 15. El profesor/a consigue despertar interés por los diferentes temas que se abordan en el desarrollo de la actividad docente..... | | | | | | |
| 16. El profesor/a ha facilitado mi aprendizaje, y gracias a su ayuda he logrado mejorar mis conocimientos, habilidades o modo de afrontar determinados temas..... | | | | | | |
| 17. En general, estoy satisfecho con la labor docente del profesor/a..... | | | | | | |

OBSERVACIONES: añada brevemente cualquier otra opinión que quiera manifestar en relación a la actividad docente del profesor/a.

Figura D.1: Modelo de encuesta para asignaturas de grado

Referencias

- [1] Resolución de 30 de diciembre de 2010, de la Universidad Politécnica de Madrid, por la que se convoca concurso de acceso a plazas de cuerpos docentes universitarios. Boletín Oficial del Estado, 18 de enero de 2011.
- [2] Juan José Murillo. Proyecto docente (Radiación y Radiocomunicación). Universidad de Sevilla, 2005.
- [3] Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades. Boletín Oficial del Estado, 24 de diciembre de 2001.
- [4] Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades. Boletín Oficial del Estado, 13 de abril de 2007.
- [5] Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Boletín Oficial del Estado, 30 de octubre de 2007.
- [6] Real Decreto 1125/2003, de 5 de septiembre, por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. Boletín Oficial del Estado, 18 de septiembre de 2003.
- [7] Real Decreto 1044/2003, de 1 de agosto, por el que se establece el procedimiento para la expedición por las universidades del Suplemento Europeo al Título, 18 de septiembre de 2003.
- [8] Real Decreto 49/2004, de 19 de enero, sobre homologación de planes de estudios y títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, 22 de enero de 2004.
- [9] Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado. Boletín Oficial del Estado, 10 de febrero de 2011.

REFERENCIAS

- [10] Orden CIN/352/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación. Boletín Oficial del Estado, 20 de febrero de 2009.
- [11] Orden CIN/355/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación. Boletín Oficial del Estado, 20 de febrero de 2009.
- [12] Informe al Claustro. Universidad Politécnica de Madrid, 2010. <http://www.upm.es>.
- [13] Cristina Pérez García. Resumen de la Memoria del curso académico 2009-2010. Universidad Politécnica de Madrid, 2010. <http://www.upm.es>.
- [14] Decreto 74/2010, de 15 de noviembre, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueban los Estatutos de la Universidad Politécnica de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, 15 de noviembre de 2003.
- [15] La ETSIT en cifras. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2006. <http://www.etsit.upm.es>.
- [16] Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2010. <http://www.etsit.upm.es>.
- [17] Resolución de 9 de diciembre de 2010, de la Universidad Politécnica de Madrid, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Boletín Oficial del Estado, 27 de diciembre de 2010.
- [18] Resolución de 15 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Universidades, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros, por el que se establecen las condiciones a las que deberán adecuarse los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos que habiliten para el ejercicio de las distintas profesiones reguladas de Ingeniero Técnico. Boletín Oficial del Estado, 29 de enero de 2009.
- [19] Documento propuesta de Plan de Estudios. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2010.

- [20] Normativa reguladora de los sistemas de evaluación en los procesos formativos vinculados a los títulos de grado y máster universitario con planes de estudio adaptados al R.D. 1393/2007. Universidad Politécnica de Madrid, 2010. <http://www.upm.es>.
- [21] Las Guías de Aprendizaje en la UPM. Universidad Politécnica de Madrid, 2009. <http://www.upm.es>.
- [22] Adrián Nogales y Olimpia Perulán. Los protagonistas de la Sociedad de la Información en constante evolución. *BIT*, (151):56–59, Junio/Julio 2005.
- [23] Santos Carranza y Mónica Segovia. Nuevos escenarios profesionales del ingeniero de telecomunicación (PESIT VI). Informe de encuesta. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Abril 2005. <http://www.coit.es>.
- [24] Comunicaciones móviles e inalámbricas. Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones (Gaptel). Red.es, 2005. <http://www.ontsi.red.es/gaptel/131>.
- [25] Docentia-UPM. Anexo: Guías, protocolos y modelos de evaluación de la actividad docente del profesorado. Universidad Politécnica de Madrid, 2010. <http://www.upm.es>.
- [26] José Antonio Sánchez Núñez. Los objetivos educativos. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [27] José Antonio Sánchez Núñez. La técnica expositiva. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [28] José Antonio Sánchez Núñez. El método de proyectos. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [29] José Antonio Sánchez Núñez. El estudio de casos. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [30] Emilio Contreras Muñoz. Evaluación de aprendizajes. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [31] José María Hernando. *Transmisión por Radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces, sexta edición, 2008.
- [32] J. D. Parsons, editor. *The Mobile Radio Propagation Channel*. John Wiley and Sons, segunda edición, 2000.

REFERENCIAS

- [33] Richard van Nee y Ramjee Prasad. *OFDM Wireless Multimedia Communications*. Artech House, 2000.
- [34] Asunción Santamaría y Francisco J. López-Hernández, editores. *Wireless LAN Standards and Applications*. Artech House, 2001.
- [35] Giovanni E. Corazza, editor. *Digital Satellite Communications*. Springer, 2007.
- [36] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano y K. Fukuda. Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service. *Review of the Electrical Communication Laboratory*, 16:825–873, 1968.
- [37] Arthur C. Clarke. Extra-terrestrial relays: Can rocket stations give world-wide radio coverage? *Wireless World*, págs. 305–308, Octubre 1945.
- [38] J. H. Stott. Explaining some of the magic of COFDM. En *Proceedings of 20th International Television Symposium*, Junio 1997.
- [39] Luis Mendo. Illustrating multipath propagation by means of sound waves. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51(4):173–184, Agosto 2009.
- [40] José María Hernando. *Comunicaciones Móviles*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, segunda edición, 2004.
- [41] José María Hernando y Cayetano Lluch, editores. *Comunicaciones Móviles de Tercera Generación UMTS*. Telefónica Móviles España, segunda edición, 2001.
- [42] Harry Holma y Antti Toskala, editores. *WCDMA for UMTS—HSPA Evolution and LTE*. John Wiley and Sons, cuarta edición, 2007.
- [43] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld y Per Beming. *3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Academic Press, segunda edición, 2008.
- [44] Michel Mouly y Marie-Bernardette Pautet, editores. *The GSM System for Mobile Communications*. 1992.
- [45] José María Hernando, editor. *Comunicaciones Móviles GSM*. Fundación Airtel, 1999.
- [46] Jaana Laiho, Achim Wacker y Tomáš Novosad, editores. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley and Sons, segunda edición, 2006.

- [47] Chris Johnson. *Radio Access Networks for UMTS*. John Wiley and Sons, 2008.
- [48] Ramón Agustí, Manuel Álvarez-Campana y Oriol Sallent, editores. *Elementos de Arquitectura y Gestión de Recursos Radio en UMTS*. Fundación Vodafone, 2004.
- [49] Ramón Agustí, editor. *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Fundación Vodafone España, 2010.
- [50] Sergio Verdú. *Multiuser Detection*. Cambridge University Press, 1998.
- [51] Klein S. Gilhousen, Irwin M. Jacobs, Roberto Padovani, Andrew J. Viterbi, Lindsay A. Weaver, Jr. y Charles E. Wheatley, III. On the capacity of a cellular CDMA system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40(2), Mayo 1991.
- [52] Giovanni Emanuele Corazza, Giovanni De Maio y Francesco Vatalaro. CDMA cellular systems performance with fading, shadowing, and imperfect power control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 47(2):450–459, Mayo 1998.
- [53] Aydano B. Carleial y Martin E. Hellman. Bistable behavior of ALOHA-type systems. *IEEE Transactions on Communications*, 23(4):401–410, Abril 1975.
- [54] Dimitri Bertsekas y Robert Gallager. *Data Networks*. Prentice-Hall, segunda edición, 1991.
- [55] James L. Massey. Information theory aspects of spread-spectrum communications. En *IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, págs. 16–20. IEEE, 1994.
- [56] Moray Rumney. What next for mobile telephony? *Agilent Measurement Journal*, (3):32–37, 2007.
- [57] Athanasios Papoulis y S. Unnikrishna Pillai. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2002.
- [58] Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky y S. Hamid Nawab. *Signals and Systems*. Prentice Hall, segunda edición, 1997.
- [59] John G. Proakis. *Digital Communications*. McGraw-Hill, cuarta edición, 2001.

REFERENCIAS

- [60] Leonard Kleinrock. *Queuing Systems. Volume 1: Theory*. John Wiley and Sons, 1975.
- [61] Real Decreto 1421/1991, de 30 de agosto, por el que se establece el título universitario oficial de Ingeniero de Telecomunicación y las directrices generales propias de los planes de estudios conducentes a la obtención de aquél. Boletín Oficial del Estado, 10 de octubre de 1991.
- [62] Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre, por el que se establecen directrices generales comunes de los planes de estudio de los títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. Boletín Oficial del Estado, 14 de diciembre de 1987.
- [63] Resolución de 17 de mayo de 1994, de la Universidad Politécnica de Madrid, por la que se ordena la publicación del plan de estudios para la obtención del título de Ingeniero de Telecomunicación. Boletín Oficial del Estado, 31 de mayo de 1994.

Glosario de siglas

Se recogen a continuación las siglas utilizadas en el Proyecto Docente, junto con su significado.

| | |
|--------|--|
| 3G | Tercera Generación |
| 3GPP | <i>Third Generation Partnership Project</i> |
| 4G | Cuarta Generación |
| AM | <i>Amplitude Modulation</i> |
| ANECA | Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación |
| BOE | Boletín Oficial del Estado |
| CDMA | <i>Code-Division Multiple Access</i> |
| CEB | Competencias Específicas de formación Básica |
| CECT | Competencias Específicas Comunes a la rama de Telecomunicación |
| CE-SE | Competencias Específicas de Sistemas Electrónicos |
| CE-SI | Competencias Específicas de Sonido e Imagen |
| CE-ST | Competencias Específicas de Sistemas de Telecomunicación |
| CE-TFG | Competencia Específica del Trabajo Fin de Grado |
| CE-TL | Competencias Específicas de Telemática |
| CG | Competencias Generales |
| COFDM | <i>Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i> |
| DECT | <i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i> |
| DSL | <i>Digital Subscriber Line</i> |
| DVB | <i>Digital Video Broadcasting</i> |
| DVB-S | <i>Digital Video Broadcasting - Satellite</i> |
| DVB-T | <i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i> |
| ECTS | <i>European Credit Transfer System</i> |
| EDGE | <i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i> |
| EPITT | Ejercicio Profesional de los Ingenieros Técnicos de Telecomunicación |
| ETSI | <i>European Telecommunication Standards Institute</i> |
| FCCH | <i>Frequency Correction Channel</i> |
| FDMA | <i>Frequency-Division Multiple Access</i> |
| FM | <i>Frequency Modulation</i> |

GLOSARIO DE SIGLAS

| | |
|-------|--|
| GPRS | <i>General Packet Radio Service</i> |
| GSM | <i>Global System for Mobile Communications</i> |
| HARQ | <i>Hybrid Automatic Retransmission Query</i> |
| HSCSD | <i>High Speed Circuit-Switched Data</i> |
| HSDPA | <i>High Speed Downlink Packet Access</i> |
| HSPA | <i>High Speed Packet Access</i> |
| HSUPA | <i>High Speed Uplink Packet Access</i> |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| IET | <i>Institution of Engineering and Technology</i> |
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| LAN | <i>Local Area Network</i> |
| LTE | <i>Long-Term Evolution</i> |
| MIMO | <i>Multiple Input Multiple Output</i> |
| OFDM | <i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i> |
| OFDMA | <i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i> |
| PAMR | <i>Public-Access Mobile Radio</i> |
| PESIT | Estudio Socio-Profesional sobre el Ingeniero de Telecomunicación |
| PMR | <i>Private Mobile Radio</i> |
| SSR | Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones |
| TDMA | <i>Time-Division Multiple Access</i> |
| TETRA | <i>Terrestrial Trunked Radio</i> |
| UHF | <i>Ultra High Frequency</i> |
| UIT | Unión Internacional de Telecomunicaciones |
| UMTS | <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> |
| UPC | Universidad Politécnica de Cataluña |
| VHF | <i>Very High Frequency</i> |
| WCDMA | <i>Wideband CDMA</i> |
| Wi-Fi | <i>Wireless Fidelity</i> |
| WiMAX | <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> |